

**Univerzita Karlova  
Přírodovědecká fakulta**

**Katedra antropologie a genetiky člověka**

Studijní program: Antropologie a genetika člověka



**Bc. Tomáš Moravec**

**Modelování vývoje povrchu patra člověka od 7 let do dospělosti**

Modelling of human palate surface development from 7 years to adulthood

Diplomová práce

Školitel: RNDr. Šárka Bejdová, Ph.D.

Konzultant: doc. RNDr. Jana Velemínská, Ph.D.

Praha, 2020

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze,

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval RNDr. Šárce Bejdové, PhD. za odborné vedení mé diplomové práce. Dále poděkování patří doc. RNDr. Janě Velemínské, Ph.D. za rady a pomoc v rámci konzultování mé diplomové práce. MUDr. Miroslavu Peterkovi, DSc. děkuji za poskytnutí materiálu k mé práci. A v neposlední bych rád poděkoval také své rodině, a to za podporu, kterou mi poskytovala v rámci celého studia.

## Abstrakt

Diplomová práce se zabývá rozdíly ve vývoji patra u dívek a chlapců v rámci pěti věkových skupin ve věkovém rozmezí 7 až 19 let, a to pomocí metod geometrické morfometrie. Dále se práce věnuje sledování pohlavního dimorfismu ve vývoji patra. Pochopení růstu patra, znalost odlišností v jeho vývoji a také změn souvisejících s pohlavním dimorfismem jsou velmi užitečné, neboť výsledky této studie budou sloužit jako srovnávací norma pro defekty pater u české populace, ale také pro vhodné plánování ortodontických zákroků.

Materiál tvoří 228 sádrových odlitků pater bez jakýchkoliv patologií, přičemž 112 z nich patří chlapcům a 116 dívkám české populace. V naší studii jsou tedy použita transverzální data. Jedinci byli následně rozděleni do pěti věkových skupin 7, 10, 12, 15 a 19 let s ohledem na jejich pohlaví. Věkové změny celého povrchu patra byly modelovány pomocí metod geometrické morfometrie (Coherent point drift – Dense correspondance analýza, Per vertex T-test a Analýza hlavních komponent). K vizualizaci výsledků bylo využito superprojekčních barevných map, map signifikancí a superprojekce.

Výsledky ukazují největší variabilitu ve formě patra u dívek skupin 10 a 12 let a u chlapců skupiny 10 let, a naopak nejmenší variabilitu u skupiny dívek 15 let a chlapců 7 let. U tvaru je největší variabilita u obou pohlaví u skupin 19 let a pak také 15 let a nejmenší u skupiny dívek 7 let a chlapců skupiny 10 let. Celkově lze říci, že se patra s rostoucím věkem v posteriorní oblasti prodlužují, a tím relativně zužují. V nižším věku jsou klenutější v přední části, toto klenutí se s rostoucím věkem v přední části vyrovnává a v zadní části se výška patra naopak zvětšuje. Tyto změny probíhají u dívek především ve věkových intervalech 7-10 a 12-15 let a po 15. roce se morfologie již téměř nemění. U chlapců změny probíhají kontinuálně během celého období vývoje až do 19 let. Nakonec byl nalezen pohlavní dimorfismus ve všech sledovaných věkových kategoriích, který se však nejvýrazněji projevuje v 15 letech, kde jsou patra chlapců nižší v mediální oblasti patra a širší v jeho laterálních oblastech. Dimorfismus je stále výrazný i v 19 letech, kdy jsou patra chlapců vyšší v přední a zadní části a také delší v zadní části než patra dívek.

**Klíčová slova:** pohlavní dimorfismus, geometrická morfometrie, česká populace, patro, modelovaný růst, transverzální data, variabilita patra



## **Abstract**

The diploma thesis deals with the differences in the development of the palate in girls and boys within five age groups in the age range of 7 to 19 years, using methods of geometric morphometry. Furthermore, the work deals with the monitoring of sexual dimorphism in the development of the palate. Understanding palate growth, knowledge of differences in its development and changes related to sexual dimorphism are very useful, as the results of this study will serve as a comparative standard for palate defects in the Czech population, but also for appropriate planning of orthodontic procedures.

The material consists of 228 gypsum castings of palate without any pathologies, 112 of which belonged to boys and 116 girls of the Czech population. Thus, transverse data are used in our study. The subjects were divided into five age groups 7, 10, 12, 15 and 19 with respect to gender. Age changes of the entire palate surface were modeled using geometric morphometry methods (Coherent point drift - Dense correspondence analysis, Per vertex T-test and Principal component analysis). To visualize the results, superprojection color maps, maps of significance and superprojection.

The results show the greatest variability in the form of palate in girls of groups 10 and 12 years and in boys of groups 10 years, and conversely the smallest variability in the group of girls 15 years and boys of 7 years. In shape, the greatest variability in both sexes is in the group of 19 years and then also 15 years and the smallest in the group of girls 7 years and boys in the group 10 years. Overall, it can be said that the palate lengthen with increasing age in the posterior area, and thus relatively narrow. At a younger age they are more arched in the front part, this arch is equal to the age in the front part and in the back part the height of the palate increases. These changes take place in girls mainly in the age intervals of 7-10 and 12-15 years, and after the age of 15 the morphology is almost unchanged. For boys, changes take place continuously throughout the development period, lasting until at least 19 years. Finally, sexual dimorphism was found in all the age categories we observed, which, however, is most pronounced at 15 years, where the paws of boys are lower in the medial area of the palate and wider in its lateral areas. Furthermore, dimorphism is still significant in 19 years, when the palate of boys are higher in the front and back and also longer in the back than the palate of girls.

**Key words:** sexual dimorphism, geometric morphometry, Czech population, palate, modeled growth, transverse data, palate variability

# Obsah

1. Úvod .....	8
2. Teoretický úvod .....	10
2.1. Anatomie patra .....	10
2.2. Prenatální vývoj patra .....	13
2.3. Postnatální růst patra .....	18
2.3.1. Šířka zubního oblouku horní čelisti .....	20
2.3.2. Délka zubního oblouku horní čelisti .....	24
2.4. Pohlavní rozdíly v uzavírání patrových plotének .....	25
2.5. Pohlavní dimorfismus patra .....	27
2.6. Vývojové defekty patra .....	33
3. Hypotézy a cíle .....	36
4. Materiál .....	37
5. Metody .....	38
5.1. Akvizice a úprava dat .....	38
5.2. Chyba měření .....	40
5.3. Analýza dat .....	41
5.3.1. Coherent point drift – Dense correspondence analýza .....	41
5.3.2. Analýza hlavních komponent (PCA) .....	42
5.3.3. Superprojekční metody .....	43
5.3.4. Per vertex t-test .....	44
5.3.5. Analýza konečných prvků (FESA) .....	45
6. Výsledky .....	47
6.1. Sledování variability patra pomocí PCA .....	47
6.1.1. Vliv hlavních komponent na formu patra u dívek .....	47
6.1.2. Vliv hlavních komponent na tvar patra u dívek .....	52
6.1.3. Vliv hlavních komponent na formu patra u chlapců .....	56
6.1.4. Vliv hlavních komponent na tvar patra u chlapců .....	61
6.2. Věkové změny morfologie patra u dívek .....	66
6.2.1. Věkové změny formy patra u dívek .....	67
6.2.2. Věkové změny tvaru patra u dívek .....	69
6.3. Věkové změny morfologie patra u chlapců .....	71
6.3.1. Věkové změny formy patra u chlapců .....	71

6.3.2. Věkové změny tvaru patra u chlapců .....	73
6.4. Porovnání změn v morfologii patra dívek a chlapců za celé sledované období .....	76
6.4.1. Věkové změny formy patra u dívek a chlapců mezi skupinami 7 a 19letých jedinců .....	76
6.4.2. Věkové změny tvaru patra u dívek a chlapců mezi skupinami 7 a 19letých jedinců .....	79
6.5. Pohlavní dimorfismus patra .....	81
6.5.1. Pohlavní dimorfismus formy patra .....	81
6.5.2. Pohlavní dimorfismus tvaru patra .....	83
7. Diskuze .....	86
7.1. Variabilita forma a tvaru patra .....	87
7.2. Rozdíl mezi věkovými skupinami jednotlivých pohlaví.....	88
7.3. Pohlavní dimorfismus patra .....	91
8. Závěry .....	93
9. Seznam použité literatury .....	95
10. Seznam použitých zkratk .....	103

## 1. Úvod

Vývoj patra je, společně s vývojem dalších útvarů nacházejících se v oblasti ústního otvoru, již poměrně dobře zmapován, a to především díky spolupráci více různých biologických disciplín, jimiž jsou zejména embryologie, vývojová biologie a také molekulární biologie (Berkowitz, 2006). Nejlépe popsán je však hlavně jeho prenatalní vývoj, zatímco studií o postnatálním vývoji mnoho není. Vývoj samotného patra začíná již v brzkém prenatalním období, kdy ke spojení primárního a sekundárního patra dochází již začátkem devátého týdne embryonálního vývoje (Jakubíková, 2012)

V postnatálním období života se patro dále proměňuje především svým růstem. Růst zde probíhá nejen v oblasti švů, ale i apozičními změnami celého svého povrchu, a patro tak společně s čelistními oblouky zvětšuje své rozměry do šířky i do délky (Melsen, 1975) a mění se také jeho hloubkové rozměry. Jelínek et al. (1983) při svém průzkumu v České republice zjistili, že do délky čelist vyroste 3x více než do šířky, kdy u dívek tento předozadní růst přetrvává do patnácti let a u chlapců až do devatenácti let. Do šířky pak patro u obou pohlaví roste přibližně do třinácti let (Jelínek et al., 1983). Přesto jsou růst i výsledné rozměry patra větší u chlapců než u dívek (Knott, 1972). Proto je velmi důležité se všemi těmito informacemi o růstu patra počítat při plánování ortodontických zásahů u malých dětí (Jelínek et al., 1983). Znalost fyziologického vývoje patra je však důležitá nejen pro chirurgii a ortodoncii, ale i pro další obory, jako je například pediatrie nebo logopedie, které informace o jeho vývoji využívají jako srovnávací normu pro léčbu pacientů s různými malformacemi (Klenková, 2006).

Jak již bylo uvedeno výše, studií o postnatálním ontogenetickém vývoji patra dosud nebylo publikováno příliš mnoho. Dosavadní studie jsou zpracovány z pohledu klasické morfometrie, zatímco práce z pohledu geometrické morfometrie, kde by byly změny v morfologii patra popsány detailněji, prozatím chybí. Zároveň je také jen velmi málo studií využívajících navíc pouze klasickou morfometrii, které by popisovaly ontogenetický vývoj patra u české populace a mohly by tak sloužit jako srovnávací norma pro defekty pater u české populace, čímž by byl odstraněn případný problém s populační specifičností vývoje patra.

Cílem této práce bylo zhodnotit věkové změny patra bez patologie na základě transverzálních dat, tj. u jedinců různého věku a pohlaví od 7 let do dospělosti

pocházejících z české populace. Toto hodnocení vývoje celého povrchu patra je provedeno pomocí metod geometrické morfometrie a s ohledem na pohlavní dimorfismus. Výsledky práce pak budou sloužit jako srovnávací norma pro následující studie zabývající se vývojem patra u pacientů s kraniofaciálními malformacemi.

## 2. Teoretický úvod

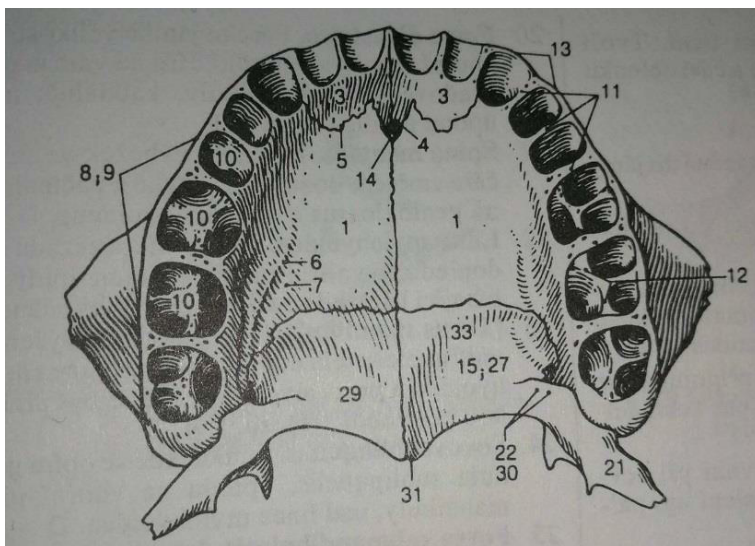
### 2.1. Anatomie patra

Abychom se mohli lépe orientovat v problematice vývoje patra u člověka v průběhu ontogeneze, měli bychom se nejdříve stručně podívat na jeho anatomii, tedy na všechny součásti tvrdého i měkkého patra a jejich vzájemné propojení.

Patro jako celek tvoří strop dutiny ústní, který lze podle odlišné struktury a funkce dále rozdělit na dvě části, a to na tvrdé patro (*palatum durum*) a měkké patro (*palatum molle*) (Atkinson, 2013; Bush & Jiang, 2012; Gray & Lewis, 1918), které se směrem dozadu svažuje šikmo a dolů a končí kuželovitým výběžkem, kterému se říká čípek neboli uvula (Mazánek, et al., 2015). První dvě třetiny patra tvoří tvrdé patro, které je z větší části kostěné, tvořené horizontálními palatinálními ploténkami a maxilárními výběžky (Dylevský, 2009). Všechny komponenty tvrdého patra jsou vzájemně spojeny transversálním a mediálním švem (Tsai & Tan, 2004). Poslední třetina patra je pak tvořena měkkým patrem, což je vazivová ploténka, do které se dále upínají svaly měkkého patra (Dylevský, 2009).

**Tvrdé patro** (*palatum durum*) má jako podklad kostěné patro (*palatum osseum*). Tento podklad je utvářen srůstem několika kostí (viz Obr. 1). Mezi tyto kosti patří párové *processus palatini* obou maxil a *os incisivum* neboli *premaxilla*, která k maxilárním výběžkům přirůstá na jejich ventrální straně. Posteriozně pak tvrdé patro dotváří také *laminae horizontales* patrových kostí, tyto kosti jsou stejně jako maxilární výběžky párové. Všechny výše uvedené kosti jsou spojeny švy, přičemž v mediální rovině je to *sutura palatina mediana* a mezi maxilou a *os palatinum* je to *sutura palatina transversa* (Čihák, 2001).

Prostor tvrdého patra je v přední části a stejně tak v laterálních částech ohraničen pomocí alveolárních oblouků s alveolárními výběžky, ve kterých jsou umístěny zuby, a dásněmi. V zadní části již není ohraničeno, ale přechází zde do měkkého patra (Gray & Lewis, 1918).



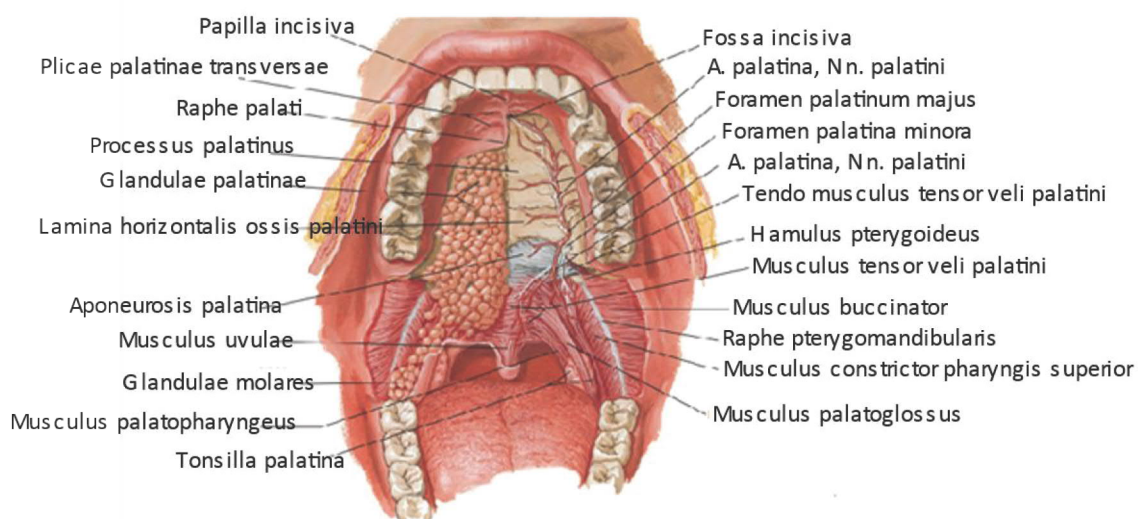
**Obr. 1** Kostěné patro zdola. 1) *processus palatinus*; 3) *os incisivum*; 5) *sutura incisiva*; 8) *processus alveolaris*; 9) *arcus alveolaris*; 27) *lamina horizontalis* kosti patrové; 29) *facies palatina* (Upraveno podle: Feneis, 1996).

Tvrdé patro je v ústní dutině kryto sliznicí, která je díky jejímu velmi pevnému srůstu s periostem nepohyblivá (Gray & Lewis, 1918). Jsou zde vidět také některé útvary tvořené právě touto sliznicí srostlou s periostem kostěného patra. Těmito útvary jsou *plicae palatinae transversae*, což jsou tuhé, transversálně probíhající nízké řasy, u nichž společně s věkem dochází k jejich postupnému vyhlazování (Čihák, 2002). Podél střední čáry se dále nachází *raphe palati*, který je zde jako stopa po srůstu patrových plotének a je ukončen anteriorně v místě, kde se nachází *papilla incisiva* (Čihák, 2002; Gray & Lewis, 1918). Posteriočním směrem vrstva sliznice postupně nabývá na tloušťce, a především v její zadní části jsou v ní uloženy drobné slinné žlázy (*glandulae palatinae*) (Dylevský, 2009).

**Měkké patro** (*palatum molle*) je pohyblivá ploténka, která navazuje na posteriorní část *laminae horizontales* patrových kostí pomocí vazivové destičky (*aponeurosis palatina*) (Blakeway, 1914; Čihák, 2002). Jeho horní část je spojena s tvrdým patrem, laterální úseky jsou spojeny s hltanem a spodní část, která je volná a slouží zde jako přepážka oddělující dutinu ústní od hltanu, se nazývá *velum palatinum* (Gray & Lewis, 1918). Tento přechod mezi ústy a hltanem, který označujeme jako *fauces*, tvoří štěrbina vznikající mezi měkkým patrem, stěnami hltanu a kořenem jazyka. V místě tohoto přechodu od okrajů měkkého patra směrem ke kořeni jazyka a stěnám hltanu se nacházejí také dvě slizniční řasy v podobě oblouků *arcus palatoglossus* a *arcus palatopharyngeus*, které obsahují i stejnojmenné svaly (viz Obr. 2) (Čihák, 2002).

Všechny svaly měkkého patra jsou párové svaly, jejichž funkcí je změna délky a tvaru měkkého patra, jeho zdvihání, snižování a regulace ústí sluchové trubice a hltanového průchodu (Dylevský, 2009). Těmito svaly jsou *m. tensor veli palatini*, napínající měkké patro, *m. levator veli palatini*, zdvihající měkké patro při polykání a řeči, *m. uvulae*, měnící tvar a délku čípku, *m. palatoglossus*, pomáhající zvedat kořen jazyka a zmenšovat tak hltanovou úžinu, a *m. palatopharyngeus*, zdvihající hltan (Čihák, 2002).

Měkké patro se celé chová jako vibrační destička, která touto svou funkcí napomáhá fonaci a doplňuje tak obdobnou funkci jazyka (Dylevský, 2009). Tuto funkci měkké patro získává od takzvané vibrační linie, což je místo spojení nepohyblivé a pohyblivé části patra, která je viditelná například při dlouhém vyslovení písmene „A“ (Atkinson, 2013).



**Obr. 2** Ústní dutina zepředu (upraveno podle: Netter, 2017).

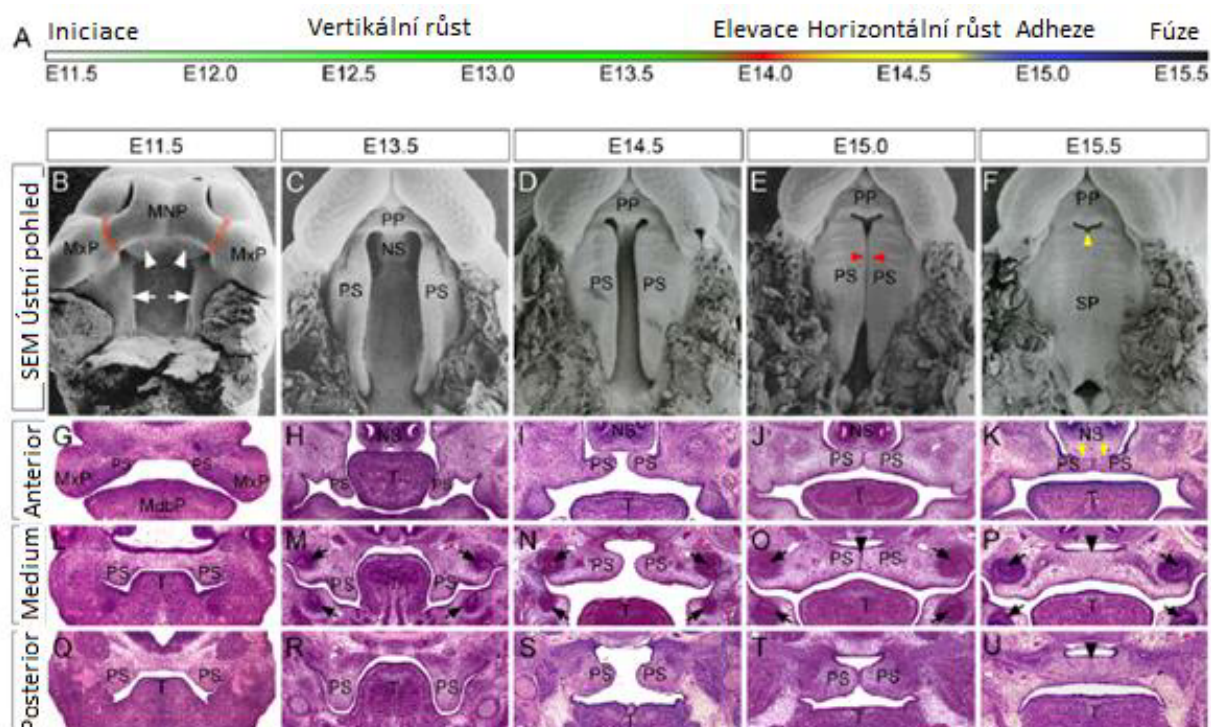
Povrch měkkého patra je pokryt dvěma různými typy sliznice. Na spodní ústní straně je tvořena mnohvrstevným dlaždicovým epitelem s vmezeřenými ostrůvky chuťových buněk. Na horní nosohltanové straně je pak tvořena víceřadým cylindrickým epitelem, ve kterém jsou místy vmezeřené ostrůvky mnohvrstevného dlaždicového epitelu (Čihák, 2002).



## 2.2. Prenatální vývoj patra

Zde bude stručně popsán prenatální vývoj patra, který začíná již velmi brzy v embryonálním období, a může tak mít vliv na formování patra v postnatálním období života, jímž se tato práce přímo zabývá. Vývoj patra je, společně s vývojem dalších útvarů nacházejících se v oblasti ústního otvoru, již poměrně dobře zmapován, a to především díky spolupráci více různých biologických disciplín, jimiž jsou embryologie, vývojová biologie a také molekulární biologie (Berkowitz, 2006).

Vývoj patra u člověka probíhá od 6. týdne a je ukončen přibližně ve 12. týdnu embryonálního vývoje. Byl zkoumán nejen u lidských embryí, ale také u myších embryí, které nám mimo jiné poskytují také dobré ilustrační fotografie k tomu, abychom si dokázali lépe představit, jak vypadá jeho vývoj u člověka (viz Obr.3). U myších embryí ve stáří 11,5 dne (Obr. 3 G, L, Q) rostou patrové výběžky z ústní plochy maxilárních výběžků kaudálním a posteriorním směrem. Ve 13,5 dnech (Obr. 3 H, M, R) pak patrové výběžky vykazují odlišné tvary podél předozadní osy. Při stáří 14,5 dne (Obr. 3 I, N, S) dochází ke zrotování patrových plotének do horizontální polohy. V 15. dnu (Obr. 3 J, O, T) se začínají patrové ploténky vzájemně dotýkat ve středové linii především ve střední a přední části patra a ve stáří 15,5 dne (Obr. 3 K, P, U) již dochází k jejich splynutí, které je evidentní ve střední a zadní části patra. (Bush & Jiang, 2012).



**Obr. 3** Vývoj patra u myši. A) Časová osa vývoje patra u myši. B-F) Snímky z elektronového mikroskopu (SEM) ukazující pohled z ústní dutiny na různá vývojová stadia sekundárního patra. G-U) Reprezentativní histologické snímky z anteriorního (G-K), mediálního (L-P) a posteriorního (Q-U) pohledu. E11,5 - E15,5 uvádí stáří myšího embrya ve dnech. MdbP - mandibulární výběžky; MNP - mediální nasální výběžky; MxP - maxilární výběžky; NS - nasální septum; PP - primární patro; PS - patrové výběžky – SP - sekundární patro; T - jazyk (Upraveno podle: Bush & Jiang, 2012).

Pokud se však podíváme na vývoj patra u člověka ihned od začátku embryonálního vývoje, tak v prvních týdnech je vytvořena primitivní ústní dutina, která je tvořena 5 obličejovými výběžky: frontonasální výběžek na rostrální straně ohraničující *stomodeum* neboli primitivní ústa ventrálně, který se dále dělí na mediální a laterální nasální výběžky, párové maxilární výběžky ohraničující *stomodeum* laterálně a nakonec kaudálně *stomodeum* ohraničující párové mandibulární výběžky, které pak ve 4. týdnu srůstají a vzniká tak dolní čelist (viz Obr. 4) (Bush & Jiang, 2012; Jakubíková, 2012).



**Obr. 4** A) Frontální pohled na lidské embryo 24. den; B) frontální pohled na embryo starší než na obr. A. (Převzato z: Sadler, 2011).

Na kraniální straně stomodea dochází přibližně počátkem 6. týdne prenatalního vývoje ke srůstu mediálních nazálních výběžků mezi sebou, které tak vytvoří základ horního rtu a intermaxilární segment, skládající se ze 3 částí: labiální, čelistní a patrové. Srůstem tohoto intermaxilárního segmentu s maxilárními výběžky po obou jeho stranách následně vzniká horní ret a primární patro (Bush & Jiang, 2012; Gritli-Linde, 2007; Jakubíková, 2012; Jelínek et al., 1983).

Sekundární patro se začíná poprvé objevovat jako malé párové bilaterální valy vyrůstající kaudálním směrem z mediální strany maxilárních a mediálních nazálních výběžků. Tyto výběžky, které se nazývají patrové ploténky, rostou vertikálním směrem po stranách vyvíjejícího se jazyka (Ferguson, 1988), který se svým hřbetem dotýká stropu primitivní dutiny ústní (Jelínek et al., 1983). Patrové ploténky pak v průběhu 7.-8. týdne embryonálního vývoje začínají rotovat a dostávají se tímto způsobem z vertikální polohy po stranách jazyka do horizontální polohy, do pozice mezi stropem dutiny ústní a hřbetem jazyka, který poklesl a vysunul se dopředu (Gritli-Linde, 2007; Jelínek et al., 1983). V průběhu 8. týdne se pak vzájemně přibližují a mezera mezi nimi se postupně uzavírá (Jakubíková, 2012).

Po přiblížení obou patrových plotének dochází k jejich fúzi, která začíná v průběhu 9. týdne embryonálního vývoje (Bush & Jiang, 2012; Jakubíková, 2012). Patrové ploténky však nesrůstají pouze vzájemně mezi sebou, ale dochází také k dalším srůstům: anterodorsálně s nosní přepážkou a anteriorně s primárním patrem, kdy tím dochází ke

spojení základů premaxily a maxily. Hraničním bodem mezi maxilou a premaxilou je zprvu široce průchodný *canalis nasopalatinus*, který později obliteruje a mění se na *foramen incisivum*. Všechny tyto části primárního a sekundárního patra po jejich srůstu společně vytváří celistvý strop dutiny ústní (Bush & Jiang, 2012; Čihák, 2002; Jelínek et al., 1983).

S vytvořením definitivního patra souvisí také jeho osifikace (viz Tab. 1), která probíhá postupně z několika osifikačních center nacházejících se v premaxile, maxile, patrových kostech a infravomerálním centru premaxily. Tato osifikace začíná v maxile v 6. týdnu embryonálního vývoje. V 7. týdnu již začíná v premaxile a později také v patrových kostech. K osifikaci v infravomerálním centru dochází až v průběhu 10. týdne (Woo, 1949). Osifikace však neprobíhá v zadní části sekundárního patra, kde se vyvíjí svalovina měkkého patra a uvuly. (Jelínek et al., 1983)

**Tab. 1** Časové údaje, kdy dochází u konkrétních osifikačních centrech k osifikaci, kde číslo embrya označuje konkrétní embryo v souboru vzorků a C-R délka je délka embrya měřená od vrcholu hlavičky po konec zadečku. Man. - *mandibula*; max. - *maxilla*; prem. - *praemaxilla*; pal. - patrové kosti; inf. - infravomerální osifikační centrum (upraveno podle: Woo, 1949).

Číslo embrya	C-R Délka	Věk	Centra s probíhající osifikací
	mm	Týdny	
80	10	5	Žádné
26	12	6	Žádné
52	12	6	Žádné
44	15	6	Žádné
51	15,5	6	man.
55	16	6	man.
31	18	6	man., max.
49	21	7	man., max., prem.
53	27	7	man., max., prem., pal.
Průměr 8 embryí	40	8,5	man., max., prem., pal.
47	62	10	man., max., prem., pal., inf.

Některé výzkumy, např. výzkum Wooda a Krause (1962) nebo Iizuka (1974), sledují vývoj patra na prenatálních lidských jedincích a snaží se zjistit postup, mechanismus a nejrizikovější fáze vývoje patra. Nejrizikovější fází vývoje se jeví uzavírání patrových plotének (Iizuka, 1974), které Fulton et al. (1957) definoval jako dotek patrových plotének ve kterémkoliv místě jejich délky. Různé studie (Burdi & Faist, 1967; Fulton, 1957; Kraus, Kitamura, & Latham, 1966) se sice neshodují na přesném období vývoje, kdy k němu dochází, ale shodují se alespoň přibližně. Dle Fulton et al. (1957) probíhá v období, kdy je velikost plodu asi 29-33 mm C-R (crown-rump length neboli délka plodu od vrcholu hlavy ke konci zadečku), což potvrzuje i další studie (Iizuka, 1974). To odpovídá přibližně 7.-8. týdnu prenatálního vývoje (Burdi & Faist, 1967). Kraus et al. (1966) uvádí období okolo 47. dne života a Burdi a Faist (1967) uvádí velikost plodu 29 mm C-R.

Zde se také dostáváme k jednomu z prvních rozdílů ve vývoji patra u člověka mezi jedinci opačného pohlaví. Burdi a Silvey (1969a) ve svém výzkumu zjistili, že u jedinců ženského pohlaví se uzavírání patrových plotének oproti mužům opoždí a dochází k němu až ve velikosti plodu 30 mm C-R, zatímco u mužů k němu dochází již ve velikosti 25 C-R (Iizuka, 1974).

Ve shrnutí by se tedy dalo říci, že k započetí vývoje patra dochází přibližně v 6. týdnu prenatálního vývoje a ke kompletnímu uzavření a fúzi patrových plotének pak dochází okolo 12. týdne prenatálního vývoje (Bush & Jiang, 2012).

### 2.3. Postnatální růst patra

Studií o postnatálním ontogenetickém vývoji patra dosud nebylo mnoho publikováno, přičemž dosavadní studie jsou zpracovány z pohledu klasické morfometrie. Práce z pohledu geometrické morfometrie, kde by byly změny v morfologii patra popsány detailněji, prozatím chybí. Také existuje jen málo studií využívajících k popisu ontogenetického vývoje patra u české populace pouze klasickou morfometrii, které by mohly sloužit jako srovnávací norma pro defekty pater u české populace, čímž by byl odstraněn případný problém populační specifických vývoje patra.

V postnatálním období života se patro dále proměňuje především svým růstem. Růst zde probíhá nejen v oblasti švů, ale i celého svého povrchu. Patro tak společně s čelistními oblouky zvětšuje své rozměry, a to nejen v šířce, ale i v jeho délce (Melsen, 1975). Jelínek et al. (1983) ve své práci, založené na studiu české populace, uvádí, že do délky čelist vyroste 3x více než do šířky, a je proto velmi důležité s tímto počítat při plánování ortodontických zásahů u malých dětí. Bishara et al. (1997) se pak shodují se studií Peterky a Pěnkavy (1975) ve zjištění, že růst patra do šířky se ukončuje ve věku 13 let s lehkými výkyvy hodnot okolo tohoto věku. Zároveň Bishara et al. (1997) uvádí, že po dokončení erupce všech trvalých zubů se šířka patra nepatrně zmenšuje, přičemž jsou tyto změny výraznější v oblasti mezi špičáky než v oblasti mezi stoličkami.

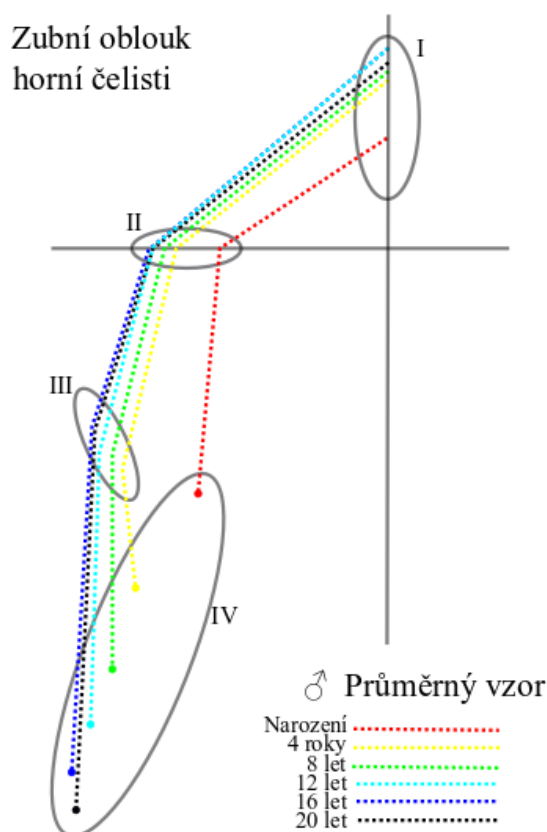
Růstové období se dá rozdělit na 3 stádia, a to podle mechanismu růstu: suturální růst, suturální růst společně s růstem remodelací kosti, a růst pouze remodelací kosti, který v pozdějším období života převažuje. To znamená, že rozšiřování tvrdého patra a zubního oblouku horní čelisti se považuje za výsledek suturálního růstu (Latham, 1971) a remodelace (Björk & Skieller, 1974), která stejně jako u jiných kostí probíhá mechanismy apozice a resorpce. Každý z těchto mechanismů však působí v jiném směru, tedy resorpce je patrná na nasálním povrchu tvrdého patra, kde probíhá do věku 14 až 15 let, a apozice je patrná na povrchu tvrdého patra směřujícího do dutiny ústní, kde je u většiny lidí patrná do věku 13 až 14 let (Melsen, 1975).

Pokud se podíváme na růst v transversálním a mediálním švu, tak je věk, kdy růst ustává, o něco vyšší než u ukončení procesu remodelace tvrdého patra. Podle inaktivních osteoblastů v oblasti švů se dá soudit, že věk, kdy dochází k ukončení růstu, je zde 15 let u dívek a 17 let u chlapců, a to v případě obou švů (Melsen, 1975).

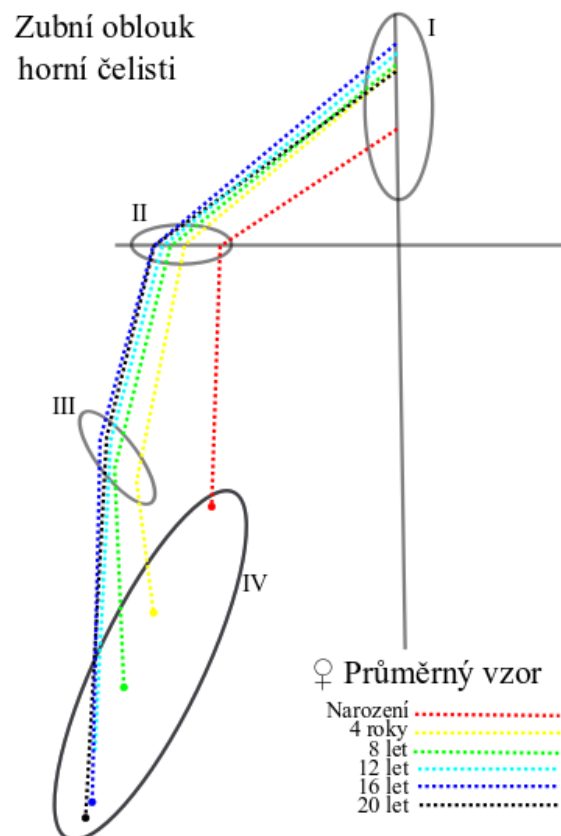
Co se však často zkoumá, je právě změna rozměrů zubního oblouku horní čelisti do šířky a do délky, přičemž jsou tyto změny rozměrů výsledkem růstu. Sledování těchto změn je pak velmi důležité z hlediska ortodontické léčby u pacientů s vývojovými vadami, protože znalost správného růstu může napomoci včasnému naplánování chirurgického zákroku (Bishara et al., 1997).

Jak se tvarově a velikostně proměňuje zubní oblouk v průběhu prvních 20 let postnatálního života, je přehledně znázorněno na Obr. 5 a Obr. 6. Zde můžeme pozorovat, že v oblasti bodu I dochází k největším nárůstům délkových rozměrů od narození do 4 let, od 4 až do 12 let jsou přírůstky menší, od 12 do 16 nejsou znatelné žádné změny a od 16 do 20 let je patrné lehké zmenšení délkových rozměrů. Mezi body II a III dochází od narození až do 16 let ke zmenšování délkových rozměrů, přičemž nejpatrnější je tento rozdíl mezi 12 a 16 lety. V intervalu od 16 do 20 let nejsou žádné změny patrné. Mezi body III a IV pak dochází k největším přírůstkům ve věkovém intervalu od 4 do 8 let, přírůstky od 8 do 16 let jsou přibližně stejné a od 16 do 20 let jsou přírůstky nejmenší za celé období vývoje. (Sillman, 1964)

Dále se dá na Obr. 5 a 6 sledovat změna v šířkových rozměrech zubních oblouků ve věkovém rozpětí od narození do 20 let. Šířka zubního oblouku mezi špičáky nejvíce narůstá od narození do 4 let, od 4 do 12 let jsou přírůstky menší a od 12 do 20 let již nejsou patrné žádné významnější přírůstky. Přírůstky v šířce mezi stoličkami jsou přibližně stejné od 4 do 12 let, od 12 do 16 let se přírůstky snižují a od 16 do 20 let již opět nejsou patrné žádné významné přírůstky (Sillman, 1964).



**Obr. 5** Složený obraz mužské maxily od narození do 20 let (Upraveno podle: Sillman, 1964).



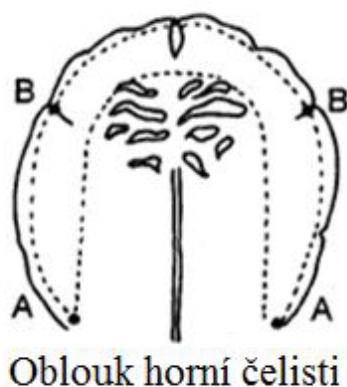
**Obr. 6** Složený obraz ženské maxily od narození do 20 let (Upraveno podle: Sillman, 1964).

Změnou rozměrů zubních oblouků se zabývalo několik výzkumů, z nichž tu lze zmínit například výzkumy Bishara et al. (1997) zabývající se změnou šířky a Bishara et al. (1998) zabývající se změnou délky zubního oblouku u jedinců ve věku od 6 týdnů do 45 let, Sillman (1964) zkoumající změny ve všech rozměrech zubního oblouku od narození do 25 let pomocí longitudinální studie a Knott (1972) zkoumající šířkové rozměry zubního oblouku v průběhu 4 stádií dentice. Dále se pak těmito měřeními zabývali také Björk et al. (1977) a Jelínek et al. (1983).

### 2.3.1. Šířka zubního oblouku horní čelisti

Bishara et al. (1997) ve své práci, kde měřili šířkové rozměry maxilárního zubního oblouku, použili jako měřicí body pro jedince v preeruptivním dentálním věku body, které jsou uvedeny na Obr. 7. Pro jedince v posteruptivním zubním věku pak použili body na špičácích a stoličkách, které jsou znázorněny na Obr. 8. Oproti tomu Sillman (1964) používal k měření 2 body, kterými byly bod na distální stěně alveolu náležejícímu špičáku a bod ležící na distální stěně alveolu náležejícímu 2. trvalé stoličce.





**Obr. 7** Vyznačené body měření šířky zubního oblouku v preeruptivním věku. A) Postgingivální bod: Bod, kde se laterální žlábek kříží s horní hranou alveolárního hřebenu. B) Bod v laterálním žlábků: Bod na posteriorním konci dásně na horní hraně alveolárního hřebenu (Upraveno podle: Bishara et al., 1997).



**Obr. 8** Vyznačené body a měření šířky zubního oblouku v posteruptivním věku (Upraveno podle: Bishara et al., 1997).

Ve výzkumech zaměřených na měření šířkových rozměrů horní čelisti vyšlo najevo, že nárůst rozměrů má s přibývajícím věkem klesající tendenci a celkově se dá říct, že muži mají širší čelisti než ženy. K největším změnám v šířkových rozměrech mezi špičkami dochází od narození do věku 4 let (Sillman, 1964). Dokonce v prvních 2 letech života jsou změny v naměřené šířce mezi špičkami pouze asi o 1 mm menší, než celkové naměřené změny za období života od 3 do 45 let (Bishara et al., 1997). Ve věku od 4 do 12 let lze zaznamenat pouze malý nárůst v šířce (Bishara et al., 1997; Knott, 1972; Sillman, 1964) a mezi 12 a 20 lety již nejsou zaznamenány žádné významné změny (Knott, 1972; Sillman, 1964), i když podle Bishara et al. (1997) dochází v období po 13 letech života k lehkému poklesu šířky naměřené mezi špičkami a takto to pokračuje až do 45 let.

Se změnou šířky zubního oblouku mezi stoličkami je to obdobné jako u špičáků. I zde jsou v prvních letech života měřitelné největší změny a s postupem věku se změny zmenšují. K významnému nárůstu v tomto rozměru dochází do věku 13 let podle Bishara et al. (1997) a 12 let podle Sillmana (1964). V dalším období až do 26 let jsou pak změny znatelně menší než v předešlém období (Sillman, 1964), podle Bishara et al. (1997) dokonce ve věku 13 až 26 let dochází k mírnému zmenšení tohoto rozměru, ale pouze u žen. Ve věku od 26 do 45 let již nejsou znatelné žádné významnější změny (Bishara et al., 1997; Sillman, 1964).

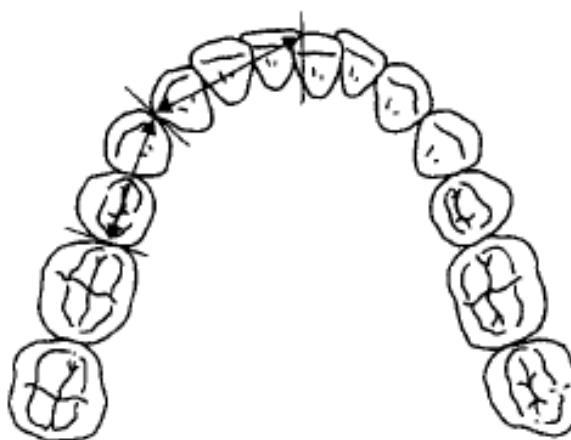
Zastavení růstu patra do šířky ve 13 letech potvrdila také studie Peterky a Pěnkavy (1975), ve které měřili šířku horního zubního oblouku na transverzálních datech získaných v české populaci. Šířka byla měřena ve dvou rozměrech, kterými byl rozměr mezi hroty dočasných a trvalých špičáků a rozměr mezi středy zadního obvodu žvýkacích ploch druhých dočasných stoliček nebo do místa kde je zadní obvod žvýkacích ploch druhých třenových zubů protínán střední rýhou. Ve své studii dospěli k závěru, že růst patra do šířky končí 13. rokem vývoje. Dle tabulky s jejich naměřenými hodnotami (Tab. 2) je pak patrné, že po 13. roce života již nedochází k žádnému nebo jen mírnému a nijak významnému nárůstu šířky horního zubního oblouku.

**Tab. 2** Průměrné hodnoty ( $\bar{x}$ ) a standartní chyby průměru (sx) pro vzdálenosti 3-3 (rozměr mezi hroty dočasných a trvalých špičáků) a 5-5 (rozměr mezi středy zadního obvodu žvýkacích ploch druhých dočasných stoliček nebo místy kde je zadní obvod žvýkacích ploch druhých třenových zubů protínán střední rýhou) měřených u české populace. Průměry vždy počítány ze 30 hodnot (upraveno podle: Peterka & Pěnkava, 1975).

Věk	Sex	3-3		5-5	
		$\bar{x}$	sx	$\bar{x}$	sx
7	♀	31,1	0,29	40,9	0,41
	♂	32,2	0,36	43,2	0,37
8	♀	31,7	0,41	41,7	0,51
	♂	32,4	0,38	43,4	0,43
9	♀	31,7	0,41	41,5	0,37
	♂	33,3	0,35	43,5	0,37
10	♀	32,5	0,41	42,7	0,45
	♂	33,8	0,33	44,6	0,38
11	♀	32,6	0,31	42,2	0,39
	♂	34,0	0,47	43,7	0,55
12	♀	33,1	0,25	41,9	0,41
	♂	34,0	0,29	44,1	0,42
13	♀	33,5	0,38	42,7	0,57
	♂	35,0	0,29	44,0	0,39
14	♀	33,6	0,36	43,7	0,41
	♂	34,6	0,34	44,8	0,46
15	♀	33,6	0,33	42,7	0,43
	♂	35,4	0,26	45,9	0,35
16	♀	32,5	0,29	42,1	0,35
	♂	34,4	0,36	44,1	0,38
17	♀	33,5	0,36	42,4	0,39
	♂	34,9	0,28	44,8	0,45
18	♀	33,2	0,21	42,5	0,32
	♂	34,3	0,50	43,4	0,55
19	♀	33,7	0,28	42,8	0,41
	♂	34,9	0,39	45,8	0,43

### 2.3.2. Délka zubního oblouku horní čelisti

Bishara et al. (1998) ve své práci, kde měřili délkové rozměry maxilárního zubního oblouku, použili jako měřicí body pro jedince v preeruptivním dentálním věku body, které jsou představeny na Obr. 7. Zcela totožné body používal ve své studii také Sillman (1964). Pro jedince v posteruptivním zubním věku pak použili body, které jsou ukázány na Obr. 9. Patří mezi ně bod na vrcholu interdentalní přepážky mezi prvními řezáky trvalé dentice, bod na distální stěně alveolu náležejícímu špičáku a bod ležící na distální stěně alveolu náležejícímu 2. trvalé stoličce. Vzdálenosti pro pravou a levou stranu pak byly sečteny (Bishara et al., 1998).



**Obr. 9** Vyznačené body a měření délky zubního oblouku v posteruptivním věku (Upraveno podle: Bishara et al., 1998).

Ve výzkumech zaměřených na rozměry délky zubního oblouku horní čelisti Bishara et al. (1998) došel k závěru, že stejně jako u šířky zubního oblouku i zde dochází k největším rozměrovým přírůstkům v prvních 2 letech života. Poté dochází ke stálému narůstání délky zubního oblouku, a to až do věku 13 let, kdy se objeví její významný pokles, který je sledován až do věku 45 let, kdy byl výzkum ukončen. Sillman (1964) se v těchto závěrech shoduje s výsledky studie Bishary et al. (1998) a navíc udává, že k největšímu poklesu růstu délky dochází v oblasti třenových zubů, a to ve všech věkových obdobích s výjimkou rozmezí 12 a 16 let, kdy nedochází k žádným změnám.

## 2.4. Pohlavní rozdíly v uzavírání patrových plotének

Uzavírání patrových plotének hraje ve vývoji patra důležitou roli, protože při špatném průběhu uzavírání plotének může docházet ke vzniku různých defektů, které je možné sledovat i v postnatálním období života (Burdi & Silvey, 1969a, 1969b). Tento proces navíc probíhá mírně odlišně u obou pohlaví, což by mohlo vysvětlovat rozdílnou míru prevalence u jednotlivých pohlaví (Fraser, 1970). Protože je uzavírání patrových plotének důležitý proces, který může dále ovlivňovat postnatální vývoj, jímž se tato práce zabývá, bude stručně popsáno v této kapitole.

Uzavírání patrových plotének probíhá u člověka v rozmezí od 7. do 9. týdne embryonálního vývoje. Za konec tohoto procesu je považována úplná fúze patrových plotének v celé jejich délce, která probíhá právě v 9. týdnu (Iizuka, 1974).

Aby bylo možné uzavírání patra kvalitně zhodnotit u embryí různého stáří a porovnat mezi sebou stadia vývoje patra u jednotlivých pohlaví, určil si Burdi a Silvey (1969a) ve svém výzkumu 5 hloubek nebo vývojových úrovní, které jim pomohly identifikovat anteroposteriorní posloupnost uzavírání patra. Těchto 5 rozměrů definovali následovně: 1) spojení primárního a sekundárního patra; 2) lokace Jakobsonova orgánu; 3) lokace kteréhokoliv z klesajících patrových nervů nebo posteriorní hranici zubního hřebenu; 4) ztráta septopalatinálního kontaktu a 5) bod uprostřed vyvíjejícího se měkkého patra. Tyto hloubky či vývojové úrovně následně hodnotili na stupnici od 1 do 7, kde 1 byly dosud nevytvořené patrové ploténky a 7 byly již horizontálně postavené a uzavřené patrové ploténky. (Burdi & Silvey, 1969a).

Hlavním a velmi důležitým rozdílem v uzavírání patrových plotének, který byl odhalen na základě mnoha výzkumů a klinických dat, je ten, že u mužů dochází k uzavírání patrových plotének, to znamená ke změně polohy plotének z vertikální polohy v pozici po stranách jazyka do horizontální polohy do pozice nad hřbetem jazyka, o relativně dlouhou dobu dříve, než se tak děje u žen (Burdi & Silvey, 1969b, 1969a; Lary & Paulozzi, 2001).

Počátek přesunu patrových plotének do horizontální polohy lze tedy u mužů pozorovat od začátku 7. týdne embryonálního vývoje, zatímco u žen je pozorovatelný až od 8. týdne embryonálního vývoje (Burdi & Silvey, 1969b). Zároveň je také tento proces u žen pomalejší a probíhá tak delší dobu (Burdi & Silvey, 1969a).

Tento rozdíl je důležitý právě z toho důvodu, že by mohl vysvětlovat skutečnost, proč u žen dochází k rozštěpům patra s vyšší frekvencí než u mužů (Fraser, 1970). V případě, kdy u žen proces uzavírání plotének trvá o něco déle, je embryo o to déle vystaveno působení teratogenům či dalším nepříznivým intrauterinním vlivům, které mohou způsobit rozštěp patra (Burdí & Silvey, 1969a, 1969b).

Avšak vyšší míru postižení, která jsou spojena s rozštěpovými vadami, ženy vykazují pouze v samostatném rozštěpu patra bez rozštěpu rtu, naopak při rozštěpu rtu i patra vykazují vyšší frekvenci postižení muži (Lary & Paulozzi, 2001).

## 2.5. Pohlavní dimorfismus patra

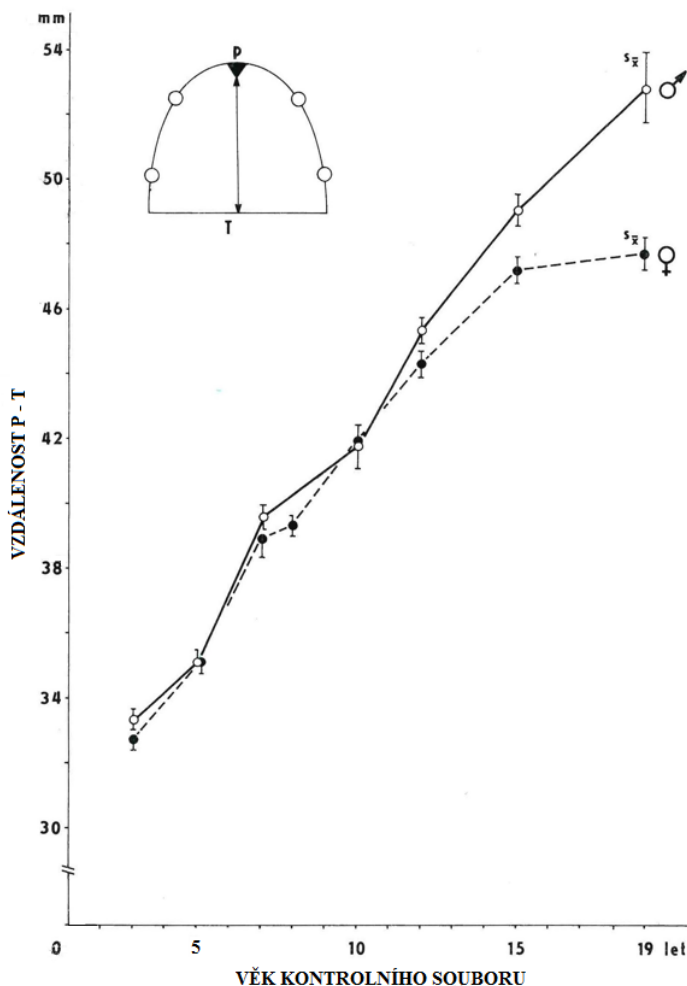
V této kapitole bude stručně popsán pohlavní dimorfismus patra a jeho případné využití v praxi, například ve forenzní antropologii. Tato práce se bude zaměřovat především na skutečnost, zda je v průběhu celého námi sledovaného vývoje skutečně přítomný pohlavní dimorfismus na patře. Dalším zajímavým poznatkem by mohlo být, jakým způsobem se na patře projevuje, a také v jaké míře bude přítomný.

Mužské a ženské patro se od sebe liší nejen v jeho vývoji, ale také v jeho rozměrech, tvaru a období růstu (Bishara et al., 1997). Některé příklady sexuálního dimorfismu patra již byly uvedeny a některé budou společně s předešlými shrnuty v této kapitole. Studií o pohlavním dimorfismu patra opět mnoho není, navíc jen málo z nich pracuje s metodami geometrické morfometrie. Používají tak pouze metody klasické morfometrie, které pracují s landmarky a nepracují s celým povrchem patra. Dále se ve výzkumech vyskytuje problém s populační specifičností patra, jako například populační specifičnost v *rugae palatinae* (Bharath et al., 2011; Gondivkar et al., 2011), o kterých bude také zmínka dále v této kapitole. Přínosem by proto měla být tato práce, která poskytne data k pohlavním rozdílům ve vývoji a rozměrech patra u české populace.

Prvním zásadním rozdílem ve vývoji patra mezi muži a ženami, který byl již uveden v předchozí kapitole, je rozdíl v uzavírání patrových plotének. K jejich uzavření dochází u mužů začátkem 7. týdne embryonálního vývoje, zatímco u žen až v 8. týdnu. Tento proces je tedy u žen pomalejší a může tak docházet k delšímu vystavování teratogenům (Burdí & Silvey, 1969b, 1969a).

Po celý vývoj patra je pak zřejmý rozdíl v rozměrech patra. Ten je prokazatelný díky longitudinálním studiím, v nichž se zjistilo, že při porovnání změn v absolutních hodnotách šířkových rozměrů mezi mužskými a ženskými patry mají muži signifikantně větší rozměry (Bishara et al., 1997). Tyto změny v šířkových rozměrech mezi jednotlivými stádii vývoje jsou rozloženy podobně u obou pohlaví. Lze pozorovat, že u většiny jedinců obou pohlaví dochází ke zmenšení šířky čelistí v oblasti mezi řezáky mezi stádii smíšené a trvalé dentice, a dále od období trvalé dentice do období dospívání. Podobně je tomu u šířky mezi špičáky a druhými dočasnými stoličkami, kdy po dosažení stádia trvalé dentice v dospělosti dochází také k velmi mírnému snížení šířkových rozměrů, které nebylo zaznamenáno pouze mezi špičáky u mužů (Knott, 1972).

Rozdíl je také v období růstu čelisti, kdy růst patra do délky probíhá u mužů víceméně lineárně od 3 do 19 let, zatímco u dívek sice do 12 let patro v tomto rozměru roste stejně jako u chlapců, ale po 12. roce se růst zpomaluje. Od 15 let horní čelist u dívek prakticky neroste (viz Obr. 10), což znamená, že rozdíl ve velikosti horní čelisti se zvyšuje právě dřívější zástavou jejího růstu u dívek (Jelínek et al., 1983).

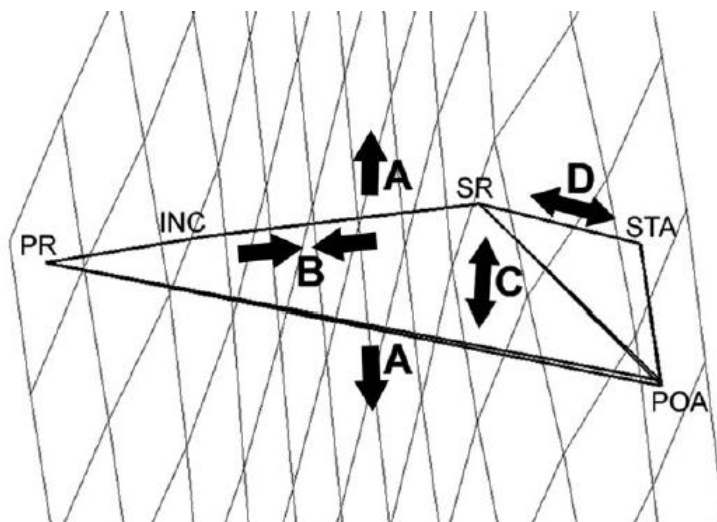


**Obr. 10** Pohlavní rozdíly v předozadním růstu horního alveolárního oblouku charakterizované parametrem P-T. P-*papilla incisiva*, T- bod ve středu spojnice obou *tubera maxillae* (Převzato z Jelínek et al., 1983).

Další rozdíl byl potvrzen v rámci geometricko-morfometrické analýzy kraniofaciálního dimorfismu na dospělých jedincích centrální Evropy, který se však shoduje s výzkumy u dalších populací. Tímto rozdílem je proklinace horních alveolárních výběžků vůči rovině patra neboli vyklonění zubů i jejich alveolárních výběžků směrem ven od ústní dutiny. Ženy vykazují nápadnější proklinaci oproti mužům. To znamená, že u mužů dochází k prohloubení v oblasti patra (viz šipka A na Obr. 11), relativnímu zkracování jeho délky (viz šipka B na Obr. 11), prohloubení patra v oblasti *sutura palatina transversa* (viz šipka



C na Obr. 11) a prodloužení zadní části tvrdého patra (viz Obr. 11 D). Výsledkem tedy je, že muži mají relativně kratší, hlubší a rovnější patro než ženy (Bigoni et al., 2010).



**Obr. 11** Rozdíly ve tvaru patra mezi pohlavími. Čárami je znázorněné průměrné ženské patro s naznačenými změnami směrem k mužskému patru. Landmarky: PR - *praeion*, INC - *foramen incisivum*, SR - *staurion*, STA - *staphylion*, POA - *postalarverion*. (Převzato z: Bigoni et al., 2010).

Chovalopoulou et al. (2013) se ve své studii zabývali měřením pohlavních rozdílů nejen v rozměrech, ale také ve tvaru pater. Bylo zjištěno, že tvarové rozdíly patra mezi pohlavími jsou detekovatelné, a liší se v některých konkrétních oblastech patra danými landmarky vyznačenými na Obr. 12. Detekované rozdíly podporují výsledky výzkumného týmu Bigoni et al. (2010) a tím otevírají možnost, že by analýzou tvarových rozdílů patra mohlo dojít k lepšímu rozpoznávání mužských a ženských jedinců (Bigoni et al., 2010).

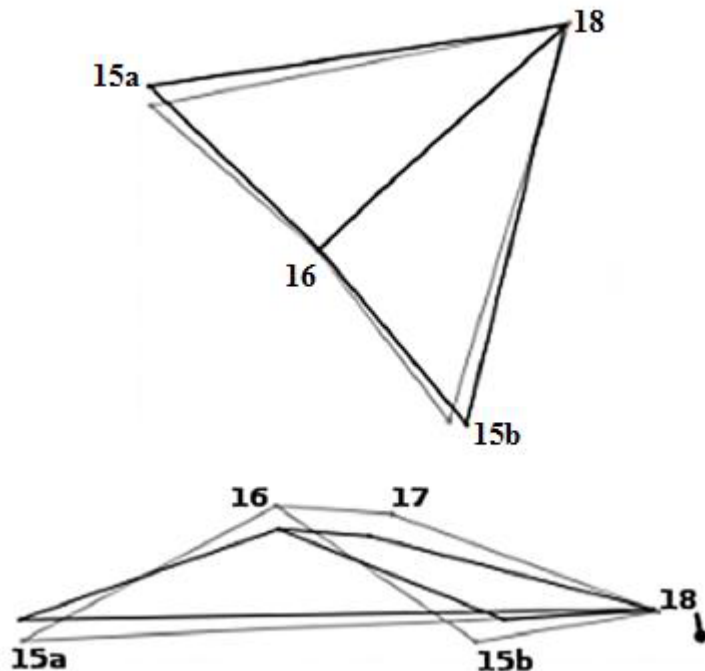


**Obr. 12** Landmarky v oblasti patra: 15) *postalverion* (nejvíce posteriorní bod na alveolárních výběžcích maxily); 16) *staphylion* (bod, kde průsečík posteriorního okraje patra protíná midsagitální rovinu); 17) *staurion* (průsečík midpalatálního a transversálního palatinálního švu); 18) *foramen incisivum* (bod na posteriorním okraji *foramen incisivum*). (Upraveno podle: Chovalopoulou et al., 2013)

Konkrétní rozdíly jsou detekovatelné v místě trojúhelníku tvořeným třemi landmarky. Těmito landmarky jsou *staphylion* a levý a pravý *postalverion* (viz Tab. 3), kdy je u žen tento trojúhelník širší, než je tomu u mužů. U mužů je naopak tato oblast vyšší než u žen. Dále také vzdálenost mezi landmarky *staphylion* a *staurion* je menší u žen, a naopak u mužů je zase menší vzdálenost mezi landmarky *staurion* a *foramen incisiva* blíže popsanými v Tab. 3. Poslední, co zde lze z analýzy tvaru patra uvést, je mezipohlavní rozdíl v místě úhlu tvořeného třemi landmarky, kterými jsou levý a pravý *postalverion* a *foramen incisivum* (viz Tab. 3), kdy je u žen tento úhel opět širší a výška této oblasti je u žen v porovnání s muži menší. Výše uvedené rozdíly můžeme přehledně pozorovat na Obr. 13. Tyto tvarové rozdíly umožňují určování pohlaví s větší pravděpodobností, než je tomu právě u velikosti patra (Bigoni et al., 2010; Chovalopoulou et al., 2013).

**Tab. 3** Definice landmarků, které vychází ze studie (Chovalopoulou et al., 2013), vztahujících se k Obr. 13 a textu, jež jej popisuje (viz výše).

Landmark	Definice landmarku
<i>postalverion</i>	nejvíce posteriorní bod na alveolárních výběžcích maxily
<i>staphylion</i>	bod, kde průsečík posteriorního okraje patra protíná midsagitální rovinu
<i>staurion</i>	průsečík midpalatálního a transversálního palatinálního švu
<i>foramen incisivum</i>	bod na posteriorním okraji <i>foramen incisivum</i>



**Obr. 13** Rozdíly ve tvaru patra mezi pohlavími. Muži jsou zde znázorněni šedě a ženy černě. 15 - *postalverion*, 16 - *staphylion*, 17 - *staurion*, 18 - *foramen incisivum* (Upraveno podle: Chovalopoulou et al., 2013).

Další z rozdílů mezi patrem mužů a žen pozorujeme u *rugae palatinae*, což jsou nízké řasy probíhající napříč celým tvrdým patrem, které se však s přibývajícím věkem vyhlazují (Čihák, 2002). V mnoha studiích se na ně autoři zaměřují a snaží se správně interpretovat jejich variabilitu jak mezi pohlavími, tak mezi různými populacemi. Podle průzkumů je evidentní, že v každé populaci je jejich počet, tvar i rozložení jiné (Gondivkar et al., 2011; Hauser et al., 1989). *Rugae palatinae* jsou u každého jedince natolik individuální, že mohou být dokonce použity k identifikaci jedince či zařazení k určité etnické skupině (Santos & Caldas, 2011).

Co se však týče pohlavních rozdílů u *rugae palatinae*, byl mezi muži a ženami nalezen statisticky významný rozdíl jak v počtu *rugae*, tak v jejich tvaru i rozložení. Ženy mají v průměru více *rugae* než muži a je u nich výrazněji zastoupen primární typ (což jsou nejdelší *rugae* s délkou přes 5 mm, měřeno od počátku ke konci) a zároveň u žen převažují *rugae* vlnitého tvaru (Bharath et al., 2011; Gondivkar et al., 2011).

## 2.6. Vývojové defekty patra

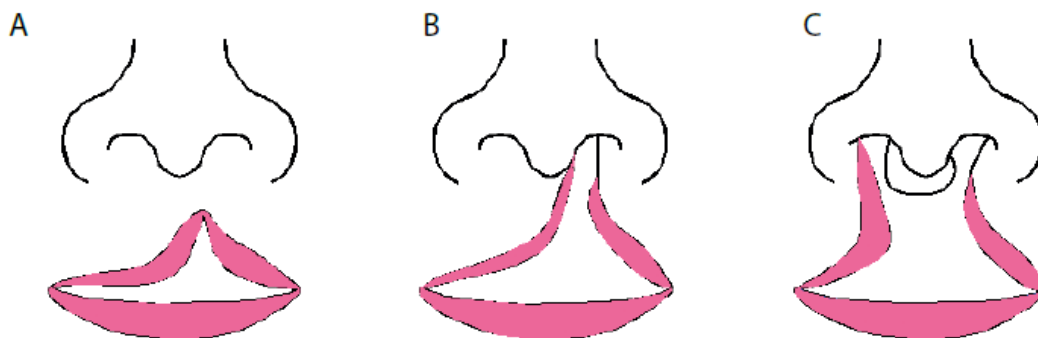
V této kapitole se pouze velmi stručně podíváme na vrozené defekty rtu a patra, které se mohou vyskytnout především v průběhu prenatálního vývoje, ale v některých případech až v brzkém postnatálním období (Jakubíková, 2012). Ačkoliv tato problematika není náplní práce, je nutné ji zde alespoň nastínit, protože tato práce má za cíl vytvořit zkoumáním zdravých pater srovnávací normu právě pro jedince s různými vývojovými vadami patra. Tato norma je nezbytná k monitorování správného vývoje patra u pacientů po chirurgickém zákroku.

Podle studie Jelínka et al. (1983) k porušení procesu palatogeneze dochází u všech rozštěpem postižených plodů před 8. týdnem prenatálního vývoje. K rozštěpovým vadám pak může docházet působením mnoha faktorů. V tomto případě může být za příčinu považováno působení jediného mutantního genu, chromosomální aberace či vliv určitého prostředí, případně kombinace mnoha genetických faktorů (Fraser, 1970).

Rozštěpové vady lze rozdělit do 3 základních skupin, a to podle oblasti, kterou postihují. Dělíme je na přední rozštěpové vady, zadní rozštěpové vady a smíšené rozštěpové vady, které bývají zpravidla nejzávažnější a zasahují od rtu až po zadní část měkkého patra. Hranici mezi předními a zadními rozštěpovými vadami pak tvoří *foramen incisivum* (Jakubíková, 2012).

Do první skupiny, kterou jsou přední rozštěpové vady, se řadí několik možných typů rozštěpů. Mezi ně patří rozštěpy rtu, který je nejlehčí formou rozštěpu, případně rozštěpy rtu a čelisti, kdy je oproti předešlému případu postižena i horní čelist. Tyto vady mohou být také různě kombinované (Jelínek et al., 1983) a mohou být úplné (viz Obr. 14 B a C) či neúplné (viz Obr. 14 A) (Jakubíková, 2012). Přední rozštěpové vady vznikají v důsledku nedostatečného růstu a následného chybného spojení maxilárních výběžků s mediálními nasálními výběžky (Jakubíková, 2012; Jelínek et al., 1983).

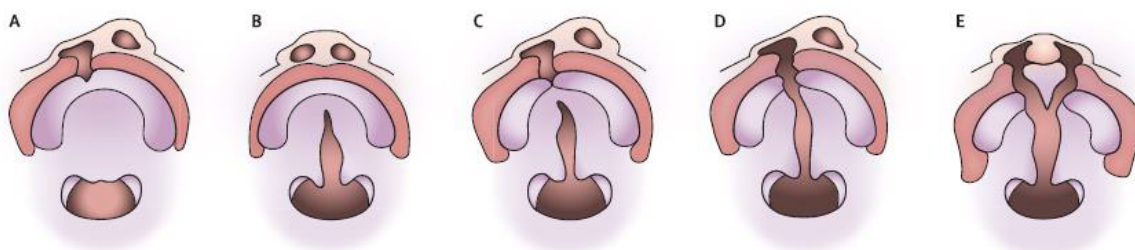
Do rozštěpů první skupiny dále patří celkový jednostranný (viz Obr. 14 B) či oboustranný (viz Obr. 14 C) rozštěp rtu a patra, kdy štěrbina vzniklá nespojením jednotlivých komponent patra prochází rtem a čelistí a od *foramen incisivum* pak pokračuje středem tvrdého patra mezi patrovými deskami a měkkým patrem až po uvulu (Jelínek et al., 1983). Vady první skupiny však bývají méně závažné než zadní rozštěpové vady (Jakubíková, 2012).



**Obr. 14** Schematické znázornění rozštěpů rtu. A) Neúplný rozštěp rtu jednostranný; B) úplný rozštěp rtu vlevo; C) úplný oboustranný rozštěp rtu (upraveno podle: Jakubíková, 2012).

Druhou skupinou jsou pak zadní rozštěpové vady, které zahrnují rozštěpy patra zasahující do maxilárních patrových plotének, kosti radličné, horizontálních plotének patrových kostí a do měkkého patra (viz Obr. 15) (Biggerstaff, 1969). Tento typ rozštěpů může být, stejně jako u předešlé skupiny, unilaterální i bilaterální, kdy dochází k vytvoření velkého průchodu mezi hltanem a dutinou nosní. Takovéto propojení hltanu a nosní dutiny pak působí velké obtíže například při kojení, neboť dítě v tomto případě nedokáže vytvořit dostatečný podtlak potřebný pro sání (Jakubíková, 2012). Nejčastěji, a to v 60 % případů, se vyskytují rozštěpy celého měkkého patra se přesahem do tvrdého patra. (Jelínek et al., 1983)

Nejzávažnější skupinou rozštěpových vad jsou pak kombinované rozštěpové vady, při kterých nejen že nejsou spojeny maxilární výběžky s mediálními nasálními výběžky stejně jako u první skupiny, ale nejsou spojeny ani patrové ploténky (Jelínek et al., 1983). V tomto případě se rozštěp táhne od rtu přes horní čelist až po zadní části měkkého patra, přičemž tento defekt může být unilaterální (viz Obr 15 D) nebo bilaterální (viz Obr. 15 E) (Jakubíková, 2012).



**Obr. 15** Orofaciální rozštěpy. A) Rozštěp rtu a čelisti (alveolu); B) rozštěp patra; C) nekompletní unilaterální rozštěp rtu a patra; D) kompletní unilaterální rozštěp rtu a patra; E) kompletní bilaterální rozštěp rtu a patra (upraveno podle: Mossey et al., 2009).

Posledním typem rozštěpu, který zde nebyl dosud zmíněn, je submukózní rozštěp a *uvula bifida*. U submukózního rozštěpu jsou vadou postiženy pouze svaly měkkého patra, zatímco orální i nasální sliznice patra zůstávají neporušeny. Zároveň se u něj vyskytuje zářez na zadní straně tvrdého patra a především rozdvojená uvula neboli *uvula bifida*, která v případě, že se vyskytuje izolovaně, může poukazovat na skrytý submukózní rozštěp (Fiala et al., 2017; Jakubíková, 2012). Submukózní rozštěp je nejčastěji se vyskytující typ rozštěpů. U dětí, u kterých se vyskytuje, dochází mimo jiné k problémům s řečí, což je důležitý diagnostický znak pro odhalení rozštěpové vady (Gosain et al., 1996; Jelínek et al., 1983).

### 3. Hypotézy a cíle

Hlavním cílem této diplomové práce je zhodnotit ontogenetický vývoj zdravého patra u jedinců od 7 let do dospělosti pomocí metod geometrické morfometrie. Budeme sledovat rozdíly ve vývoji patra jak v rámci věkových skupin jednoho pohlaví, tak i mezi pohlavími. Protože ontogeneze patra a s ním související změny pohlavního dimorfismu nebyly dosud u české populace příliš popsány, je zapotřebí vytvořit srovnávací normu, která bude dále využitelná pro studie zabývající se vývojem patra u pacientů s defekty, jako jsou například rozštěpové vady.

Jelínek et al. (1983) při svém průzkumu zaměřeném na vývoj patra a čelistí u české populace zjistili, že do délky čelist vyroste 3x více než do šířky. Růst patra do délky pak probíhá u mužů víceméně lineárně od 3 do 19 let, zatímco u dívek sice do 12 let patro v tomto rozměru roste stejně jako u chlapců, ale po 12 roce se růst zpomaluje a od 15 let horní čelist u dívek prakticky neroste. To znamená, že pohlavní dimorfismus velikosti horní čelisti se zvyšuje právě dřívější stagnací jejího růstu u dívek. Do šířky pak patro u obou pohlaví roste přibližně do 13 let (Jelínek et al., 1983). Podle studie autorů Bishara et al. (1997) dokonce ve věku 13 až 26 let dochází k mírnému zmenšení šířky patra mezi prvními stoličkami, ale pouze u žen. V celkovém zhodnocení jsou růst i výsledné rozměry patra větší u chlapců než u dívek (Knott, 1972).

V rámci této diplomové práce byly stanoveny následující cíle:

1. Modelovat vývoj povrchu zdravého patra od 7 let do dospělosti u každého pohlaví zvlášť.
2. Zhodnotit výskyt a míru pohlavního dimorfismu od 7 let do dospělosti.

V souladu s ustanovenými cíli a předpoklady byly zformulovány následující hypotézy:

1. U obou pohlaví bude růst patra do šířky patrný do 12 let a dále již patro v tomto směru neporostou.
2. U dívek bude docházet k zastavení růstu patra již v 15 letech, zatímco u chlapců bude jeho růst pokračovat až do 19 let.
3. Pohlavní dimorfismus začne být patrný u jedinců kolem 12 let a ve vyšším věku se bude zvyrazňovat.



## 4. Materiál

V této studii pracujeme s transversálními daty. Ke sběru těchto dat jsme použili sádrové odlitky pater dětí a mladistvých, které jsme následně naskenovali a dále používali pouze jejich 3D skeny. Použili jsme celkem 228 sádrových odlitků pater, přičemž 112 z nich patřilo chlapcům a 116 dívkám. Každý z odlitků odpovídá právě jednomu jedinci.

Všechny odlitky pochází z české populace a byli nasbíráni v Brně v rozmezí let 1975-2004. K naskenování pak byly poskytnuty Ústavem experimentální medicíny Akademie věd České republiky, který se nachází v Praze, kde byly odlitky uloženy. Jedinci, kteří byli zařazeni do této studie, netrpěli žádnými malformacemi patra či jinými onemocněními, které by ovlivňovaly jeho morfologii. Jedince jsme dále rozdělili na základě jejich stáří do 5 věkových skupin, a to: 7, 10, 12, 15 a 19 let (viz. Tab. 4). Do každé z věkových skupin spadají ti jedinci, kteří mají k dané skupině nejbližší. Důsledkem toho jsou v jedné skupině nejen jedinci shodného věku, ale i s mírným věkovým rozptylem.

**Tab. 4** Věkové skupiny uvedené v rocích a počty jedinců použité v této práci.

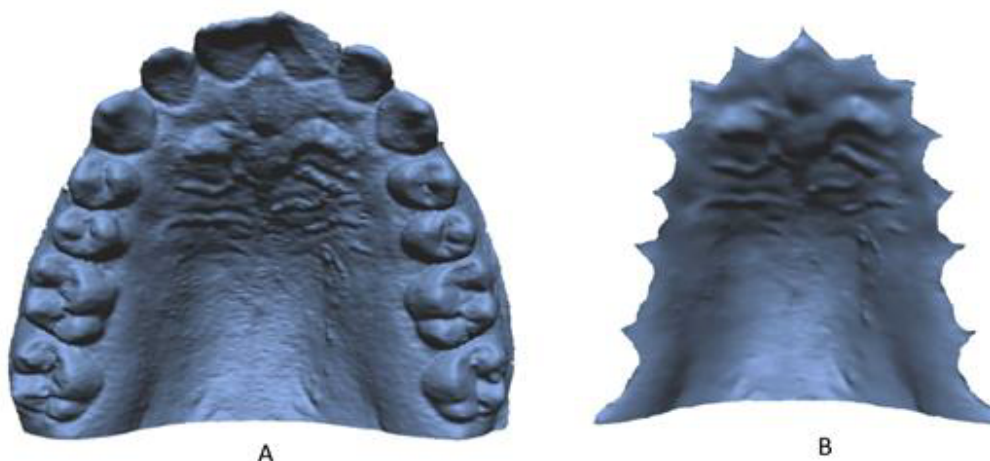
	Skupina 7 let		Skupina 10 let		Skupina 12 let		Skupina 15 let		Skupina 19 let	
<b>Pohlaví</b>	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
<b>Min. věk</b>	5,00	6,40	9,60	9,70	11,00	11,00	14,00	14,10	16,80	16,80
<b>Max. věk</b>	8,00	8,00	10,60	10,00	12,40	12,10	15,30	16,60	25,00	25,40
<b>Průměrný věk</b>	6,90	7,10	9,90	9,80	11,60	11,50	14,70	14,90	19,20	18,90
<b>Směrodatná odchylka</b>	0,803	0,632	0,465	0,126	0,382	0,331	0,42	0,746	1,611	2,191
<b>Počet jedinců ve skupině</b>	23	23	19	15	21	23	24	28	29	23

## 5. Metody

### 5.1. Akvizice a úprava dat

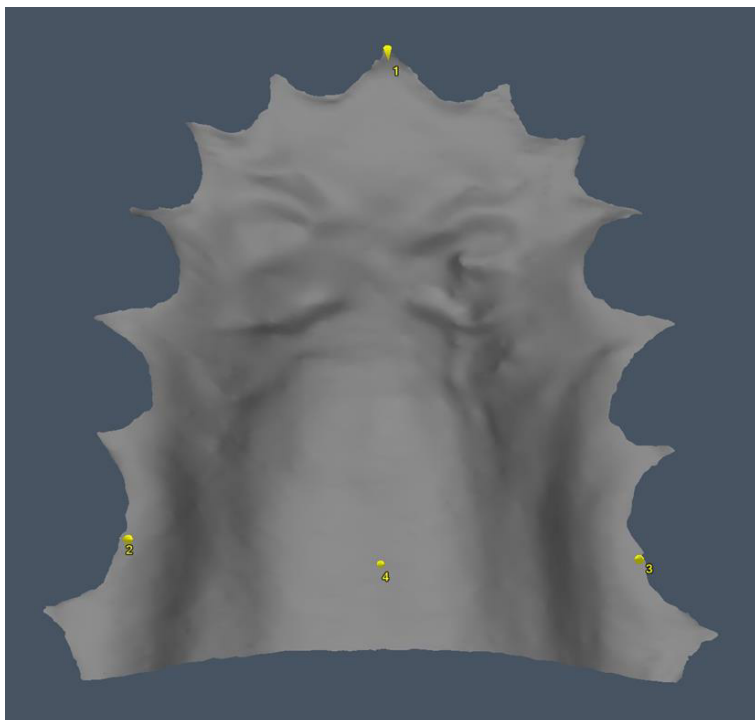
Sádrové odlitky pater včetně zubů jsme naskenovali pomocí třídimenzionálního laserového skeneru Roland LPX-250 (výrobce Roland DG, Hamamatsu, Japan) za pomoci Dr. Picza 3 software (Roland DG) s rozlišením 200 $\mu$ m. Patra byla v tomto skeneru umístěna na rotační kotouč, na kterém jsme je následně skenovali. Laserové paprsky při skenování dopadaly nejprve kolmo na okluzní rovinu zubů skenovaného odlitku, poté jsme doskenovali i další oblasti patra, které na první pohled nebyly pro paprsky dostupné. Abychom mohli tyto oblasti doskenovat, bylo vždy nutné pootočit odlitek přibližně o 45°.

Naskenované odlitky jsme dále upravovali v programu Pixform (Roland DG) a následně v programu Rapidform XOS 2006 (INUS technology Inc., Soul, Jižní Korea), kde jsme je zbavili oblasti zubů. Poté jsme zacelili otvory vznikající v místě, kde se nacházel „stín“ a nedopadaly sem laserové paprsky (viz Obr. 16).



**Obr. 16** A) neořezané patro; B) patro zbavené oblasti zubů.

Další úpravy jsme již prováděli v programu Morphome3cs, ve kterém jsme manuálně nanášeli landmarky neboli referenční body, které slouží k zarovnání polygonové sítě modelů patra na sebe. Celkem jsme nanesli 4 landmarky rozmístěné následovně: 1. nejvíce anteriorně položený bod mezi prvními řezáky, 2. a 3. ve středu palatinálního okraje alveolárních výběžků prvních trvalých stoliček, 4. uprostřed klenby patra na spojnici přímky, která prochází 2. a 3. landmarkem s přímkou protínající 1. landmark a dopadající kolmo na předešlou přímku (viz Obr. 17).

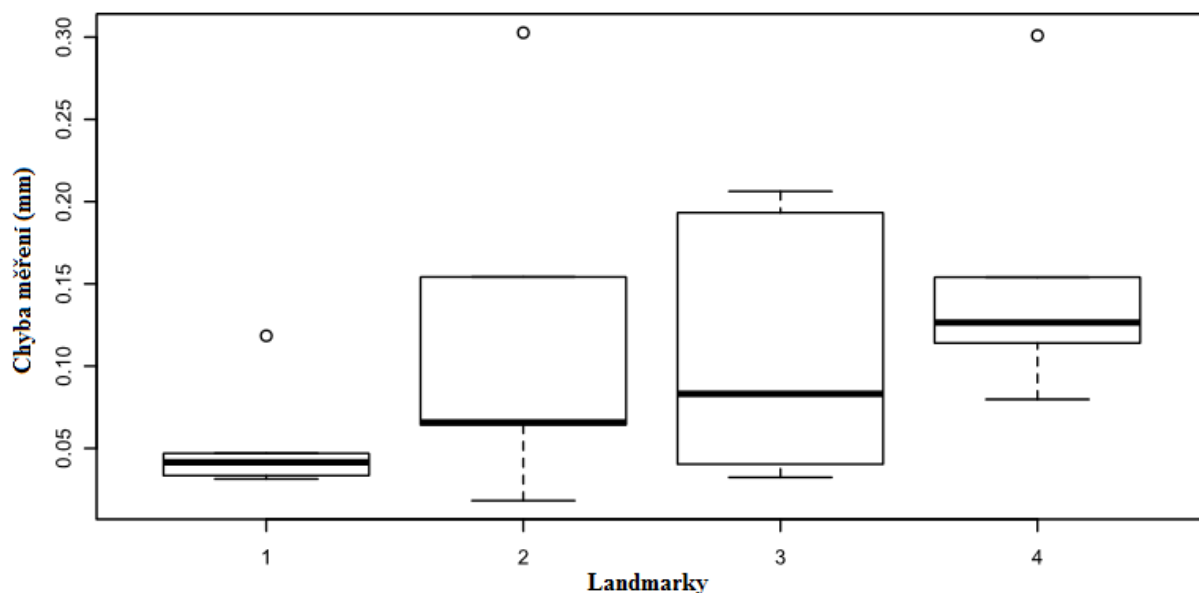


**Obr. 17** Patro s nanesenými landmarky

## 5.2. Chyba měření

Chybu měření jsme stanovili na základě studie Cramon-Taubadel et al. (2007), podle které je v případě práce s kvantitativními daty důležité, aby byla zachována opakovatelnost výzkumných postupů a tím reprodukovatelnost výsledků (Cramon-Taubadel et al., 2007).

V praxi jsme chybu měření stanovili nanesením 4 landmarků na 3D skeny 5 náhodně vybraných jedinců v programu Morphome3cs. Nanesení těchto landmarků jsme u každého jedince s časovým odstupem pětkrát opakovali a z rozdílů následně vypočítali chybu měření, která je zobrazena v krabicovém grafu na Obr. 18. Celková chyba měření v tomto případě byla 0,11 mm, přičemž standardní chyba měření je přijatelná do 1 mm (Kramer, Hoeksma, & Prahl-Andersen, 1994, 1996). To znamená, že náš výsledek se dá považovat za reliabilní.



**Obr. 18** Chyba měření vynesena v krabicovém grafu. Chyba je vyjádřena v milimetrech.

### 5.3. Analýza dat

Všechna data jsme analyzovali pomocí softwaru Morphome3cs II. Tento software byl vytvořen Skupinou počítačové grafiky z Matematicko-fyzikální fakulty University Karlovy v Praze ve spolupráci s Laboratoří 3D zobrazovacích a analytických metod spadající pod Katedru antropologie a genetiky člověka na Přírodovědecké fakultě University Karlovy v Praze. Program využívá metod geometrické morfometrie a soustředí se na analýzu vícerozměrných dat neboli hodnocení formy i tvaru 3D modelů a jejich vizualizaci. Je využíván především pro výzkumné účely v oborech antropologie a archeologie (Krajíček et al., 2012; Velemínská et al., 2012).

#### 5.3.1. Coherent point drift – Dense correspondence analýza

U každého z jednotlivých 3D modelů bylo pokrytí vrcholy trojúhelníkové sítě nepravidelné, a tudíž u každého z modelů odlišné. Proto bylo před započítáním jakékoliv statistické analýzy dat nezbytné všechny jednotlivé skeny neboli polygonové sítě sjednotit tak, aby u nich byl souhlasný počet vrcholů a trojúhelníků. Pro účel sjednocení meshů jsme využili upravenou metodu DCA: *Coherent point drift – Dense correspondence analýza* (CPD – DCA), která umožňuje provedení nerigidní registrace dat (Dupej et al., 2014).

Aby bylo možné sjednocení provést, bylo nejprve nutné nanést vždy ve stejném pořadí celkem 4 referenční landmarky (viz výše: Akvizice a úprava dat). Pomocí generalizované Prokrustovské analýzy (GPA) pak na sebe byly zarovnány všechny 3D modely tak, aby byla vzdálenost mezi odpovídajícími referenčními landmarky co nejmenší (Adams et al., 2004). Dále byl náhodně vybrán jeden vzor topologie 3D modelu, takzvaný *base mesh*, který byl vzorem pro všechny ostatní 3D modely neboli *floating meshes*. Dále jsme provedli *Coherent point drift* analýzu (CPD), pomocí které jsme získali dopočet chybějících vrcholů na stejný počet, jako měl předem zvolený *base mesh*. Podle tohoto *base mesh* byly poté rozpoznány chybějící vrcholy sítě, která byla následně deformována podle *base mesh*, přiměřeně dopočítávanému povrchu modelu (Dupej et al., 2015; Musilová et al., 2016). Díky využití metody CPD – DCA bylo možné dosáhnout přesnějšího porovnání povrchů než v případě využití metody DCA, protože zde výsledky nezávisí pouze na homologických landmarkích, ale deformace ostatních modelů (*floating meshes*) se uskutečňuje zarovnáním vrcholů trojúhelníků v nejbližším bodě k povrchu *base mesh*. (Dupej et al., 2014; Musilová et al., 2016)

### 5.3.2. Analýza hlavních komponent (PCA)

Analýza hlavních komponent (PCA) slouží ke zjednodušení popisu znaků, které spolu vzájemně korelují. Dochází při ní k redukci původních znaků pomocí lineární transformace do hlavních komponent, což umožňuje zhodnocení velkého objemu dat. Hlavní komponenty představují umělé a na sobě nezávislé veličiny, které vysvětlují morfologickou variabilitu zkoumaných vzorků s minimální ztrátou informace. Procentuálně největší variabilita dat je zachycena první hlavní komponentou (PCA1). Každá další komponenta pak vysvětluje menší podíl na variabilitě a zároveň zachycuje informace týkající se variability, které nebyly popsány předchozími komponentami (Abdi & Williams, 2010; Zelditch et al., 2004).

Hlavní komponenty je možné vizualizovat v takzvaném suťovém grafu (*scree plot*) (Meloun & Militký, 2002), zobrazujícím jednotlivé hlavní komponenty a jejich procentuální podíl na celkové variabilitě souboru dat. Právě pomocí suťového grafu jsme určili, kolik hlavních komponent je třeba zahrnout do analýzy našich dat. Do analýzy byly zahrnuty všechny hlavní komponenty nacházející se nad dělicí čarou (*broken stick*) a zároveň procházející bodem, který označuje největší změnu. Hlavní komponenty, které se nacházejí nad dělicí čarou, mají velký procentuální podíl na celkové variabilitě a zachycují tak skutečnou variabilitu. Naopak komponenty pod dělicí čarou nemají dostatečné procentuální zastoupení na celkové variabilitě, aby jí nějak významně ovlivnily (Haruštiaková et al., 2012).

Hlavním výstupem analýzy hlavních komponent je pak grafické vyjádření skóre hlavních komponent pomocí grafu PC (*principal components*) skóre neboli korelačního grafu (*scatter plot*). V něm je znázorněno PC skóre, tedy hodnoty prvních dvou hlavních komponent všech modelů (Meloun & Militký, 2002), avšak je zde možné komponenty měnit a sledovat tak i další komponenty v pořadí. Pro zobrazení variability jsme použili grafy PC skóre s konfidenčními elipsami, které vymezují oblast grafu, kde se jedinec dané skupiny vyskytuje s 95 % pravděpodobností. Tyto grafy umožňují sledování variability jak formy, tak tvaru patra u všech věkových skupin jedinců obou pohlaví, zahrnutých do této práce. Každá elipsa grafu vymezuje oblast, kde se jedinec patřící k dané skupině bude pravděpodobně nacházet (Haruštiaková et al., 2012). Každý bod grafu pak znázorňuje konkrétního jedince a jeho pozici určenou v rámci sledovaných hlavních komponent.

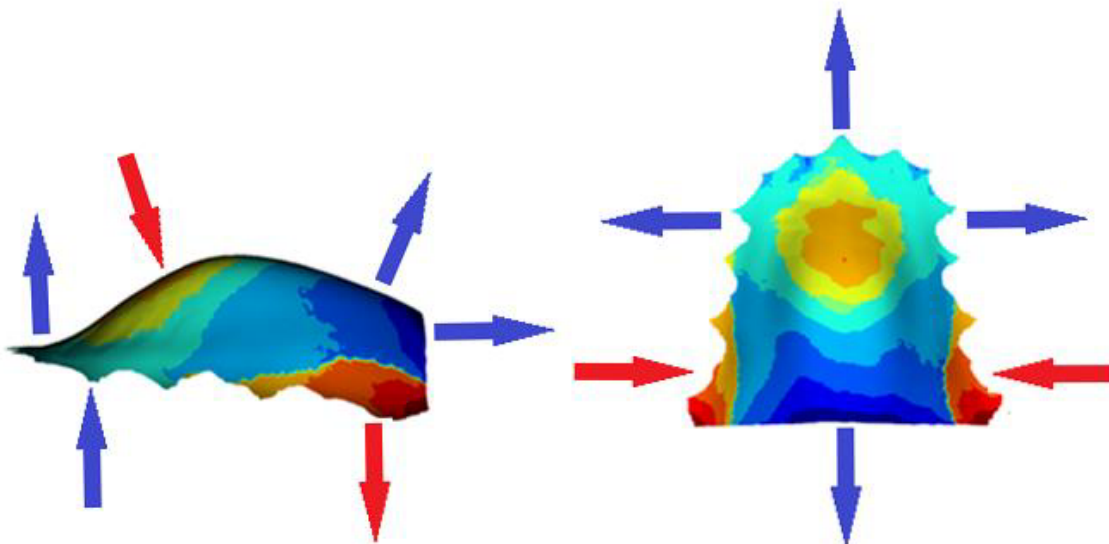
V programu Morphome3cs jsme také sledovali modely pater odpovídající určitým hodnotám hlavních komponent a pozorovali u nich změny formy či tvaru patra při posunu

do jejich pozitivních či negativních hodnot jednotlivých hlavních komponent. Toto pozorování napomohlo lepšímu a efektivnějšímu zhodnocení hlavních komponent a jejich vlivu na formu a tvar patra.

### **5.3.3. Superprojekční metody**

Metody superprojekce se využívají k porovnání dvou skupin jedinců. Tuto metodu lze opět provést v programu Morphome3cs a jejím výsledkem jsou barevné mapy, které zobrazují morfologické rozdíly (Claes et al., 2014). Tímto způsobem jsme u superprojekčních analýz sledovali rozdíly ve formě i tvaru, a to jak mezi průměrnými patry jedinců různých věkových skupin, tak i mezi pohlavími. Výsledkem superprojekční analýzy pak bylo zobrazení rozdílů na vzorovém modelu (*base mesh* - předem vybraný model, na který se promítají ostatní patra), kde barevná mapa udává vzdálenost mezi dvěma body polygonální sítě (Besl & McKay, 1992; Kau et al., 2005).

Barevné mapy tedy umožňují hodnocení změny formy a tvaru patra mezi jednotlivými věkovými skupinami opačného pohlaví, i mezi různými věkovými skupinami stejného pohlaví. Zároveň umožňují sledovat změny v intenzitě vývoje patra u opačných pohlaví a v různém věku, což je stěžejní v této práci (Claes et al., 2014). Oblasti označené červenou barvou a dalšími teplými barvami vykazují negativní růstové změny (retruze) a rostou směrem dovnitř do dutiny ústní. Naopak oblasti označené modrou barvou a dalšími chladnými barvami vykazují pozitivní růstové změny (protruze) a rostou směrem ven od dutiny ústní. Zelená barva pak znázorňuje oblasti, kde není sledován rozdíl ve formě ani tvaru patra mezi sledovanými skupinami (viz Obr. 19).

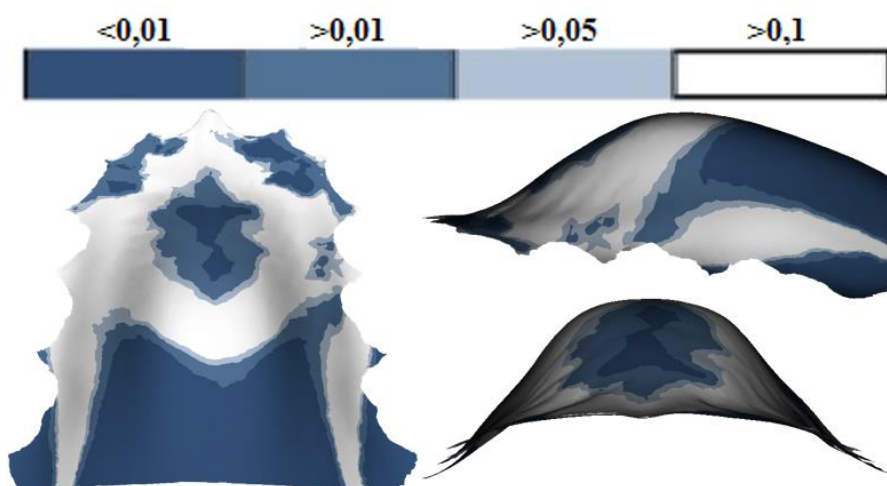


**Obr. 19** Barevná mapa patra. Modrá barva a šipky značí pozitivní růstové změny patra a jeho růst směrem ven od ústní dutiny. Červená barva a šipky značí negativní růstové změny patra a jeho růst směrem dovnitř do ústní dutiny.

#### 5.3.4. Per vertex t-test

Per vertex t-test je metoda fungující na principu dvouvýběrového t-testu. Pomocí této metody můžeme zobrazit statisticky signifikantní rozdíly mezi dvěma povrchy, v našem případě tedy mezi dvěma modely pater (Koudelová et al., 2015). Zatímco Hotellingův t-test pracuje s PCA skóre a porovnává střední hodnoty určité proměnné u dvou skupin (Dadáková et al., 2016; Haruštiaková et al., 2012), per vertex t-test hodnotí rozdíl vzdálenosti mezi všemi homologními vrcholy (vertexy) polygonových sítí tvořících 3D modely. Tímto způsobem můžeme vizualizovat přesná místa, kde je rozdíl mezi dvěma povrchy statisticky signifikantní. Výsledkem této metody je mapa signifikance, v níž jednotlivé barvy reprezentují odlišné velikosti p-hodnoty. Rozdíly v odstínu modré barvy (viz Obr. 20) jsou pak dány právě hladinou signifikance (Krajíček et al., 2012), přičemž nejtmaší odstín modré označuje oblasti, které vykazují statisticky nejvýznamnější rozdíl, a odpovídá p-hodnotám menším než 0,001. Světlejší modrá označuje oblasti s p-hodnotami v rozmezí 0,01 a 0,001 a nejsvětlejší odstíny modré pak označují oblasti s p-hodnotou v rozmezí 0,05 a 0,01. Oblasti označené bílou barvou nevykazují žádnou statistickou signifikanci a odpovídají hodnotám nad 0,05 (Moslerová et al., 2018).





**Obr. 20** Mapy signifikance, kde různé odstíny modré a bílá barva značí odlišnou hladinu signifikance. Hladina signifikance dle barev je uvedena na ose v obrázku. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách.

### 5.3.5. Analýza konečných prvků (FESA)

Analýza konečných prvků FESA (Finite Elements Analysis) je metoda využitelná pro individuální hodnocení růstových změn i pro sledování rozdílů mezi celými skupinami jedinců. Samotná metoda je založená na porovnávání velikosti a tvaru mezi referenčním objektem, který je dán původním uspořádáním landmarků na daném objektu a cílovým objektem, který je dán uspořádáním totožných landmarků na jiném objektu, přičemž rozdíl mezi těmito objekty se projeví jako kontinuální deformace (Richtsmeier et al., 2002; Singh et al., 2004).

Povrch objektů je rozdělen na mnoho malých uzavřených útvarů, kterým se říká konečné prvky. Vrcholy těchto konečných prvků pak tvoří přesně nadefinované landmarky (Richtsmeier et al., 1992). Homologní transformace pak u vnitřních bodů všech konečných prvků způsobí, že se tyto body proporčně prodlouží nebo zmenší. U 2D objektů jsou konečnými prvky trojúhelníky, které jsou společně s kružnicí vepsanou v každém z trojúhelníků, transformovány do odpovídajícího trojúhelníku v cílovém objektu. Kružnice vepsaná v každém z trojúhelníků se tak po homologní transformaci promění na elipsu, jejíž hlavní a vedlejší osa nám popisují danou transformaci (Singh et al., 1999), přičemž směr těchto os nám udává směr největších a nejmenších tvarových změn a délka těchto os znázorňuje relativní rozsah těchto změn (Cheverud et al., 1983; O'Higgins, 1997). Výše uvedené tedy platí pro 2D objekty, v případě 3D objektů jsou konečnými prvky namísto trojúhelníků jehlany se čtyřmi landmarky jako vrcholy, uvnitř nichž je vepsána koule, ze které se po homologní transformaci stává elipsoid (Singh et al., 1999).

Pomocí FESA analýzy tak můžeme zobrazit vývojové změny na základě alometrie neboli nerovnoměrnosti růstu a anizotropie neboli závislosti vlastností prvků na směru. Díky tomu mohou být rozdíly mezi jedinci či skupinami jedinců graficky popsány (Singh et al., 1999, 2004).

Výsledky této metody jsou zobrazeny barevnými mapami průměrných forem pater dvou skupin jedinců, jimiž jsou v naší práci skupiny 7 let a 19 let u dívek a 7 let a 19 let u chlapců. Zobrazeno je vždy průměrné patro skupiny 19 let vůči patru skupiny 7 let. Žlutá barva a další teplé odstíny značí oblasti kde došlo k relativnímu zvětšení určité části patra vůči mladší skupině jedinců, světle fialová barva značí oblasti, kde nedochází k žádnému rozdílu a bílá barva a další chladné odstíny značí oblasti, ve kterých dochází k relativnímu zmenšení patra vůči mladší skupině jedinců.

## 6. Výsledky

V této práci jsme sledovali variabilitu formy a tvaru patra, která je dána především jeho růstem. Variabilitu jsme zkoumali pomocí analýzy hlavních komponent (PCA). Rozdíly mezi průměrnými modely, které odrážejí formu (velikost i tvar), nebo pouze tvar patra, jsme vyjádřili pomocí superprojekčních metod. Tyto rozdíly jsme popsali mezi všemi věkovými skupinami. Poté jsme je vizualizovali pomocí barevných map a map signifikance, které barevně odlišují oblasti s různou intenzitou a směrem růstu, a také oblasti se statisticky významným růstem. Tato metodologie nám umožnila sledovat směr a intenzitu růstu v různých oblastech patra, sledovat změny v čase a také rozdíly mezi jednotlivými skupinami jedinců.

### 6.1. Sledování variability patra pomocí PCA

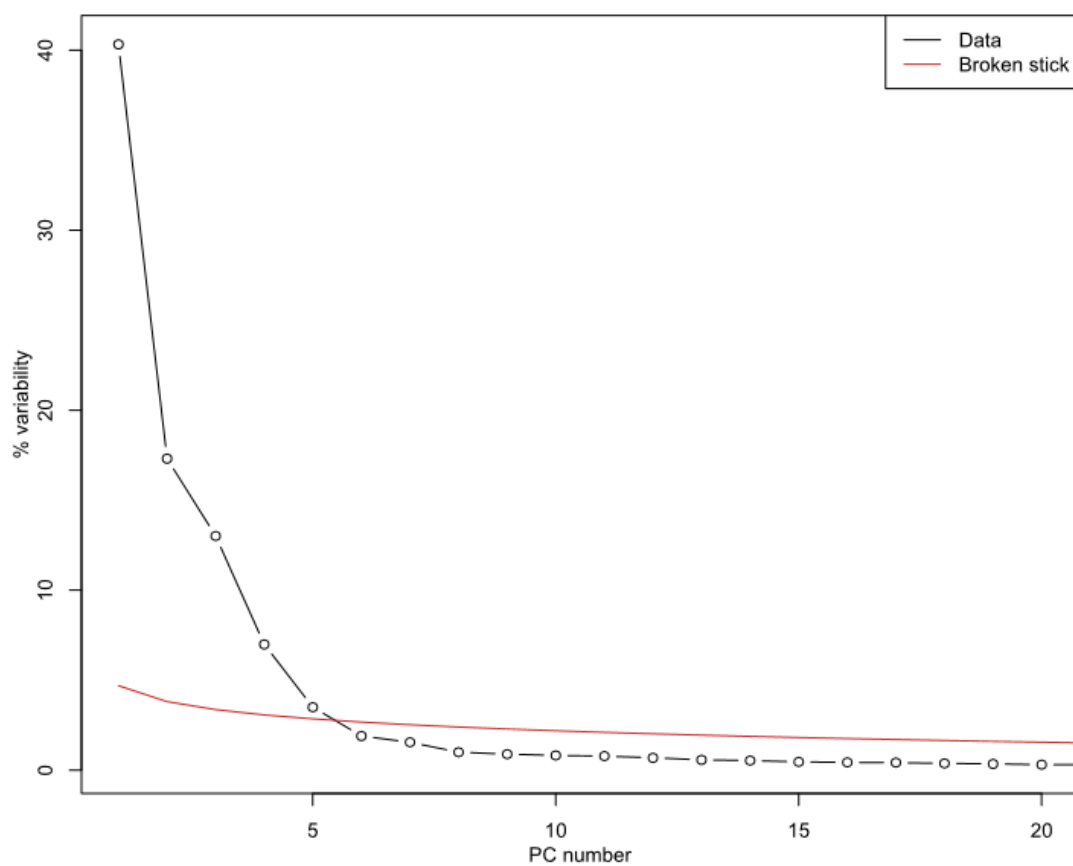
Na základě PCA jsme hodnotili změny ve formě a tvaru pater. Hodnocení probíhalo u dívek a chlapců odděleně, abychom mohli výsledky pro obě pohlaví vyhodnotit zvlášť. Hlavní komponenty, které byly podrobeny další analýze, jsme určili pomocí dělicí čáry (*broken stick*), zanesené v suťovém grafu. Tyto hlavní komponenty nesou dostatečné množství informace, aby významně přispívaly k celkové variabilitě sledovaných skupin jedinců.

#### 6.1.1. Vliv hlavních komponent na formu patra u dívek

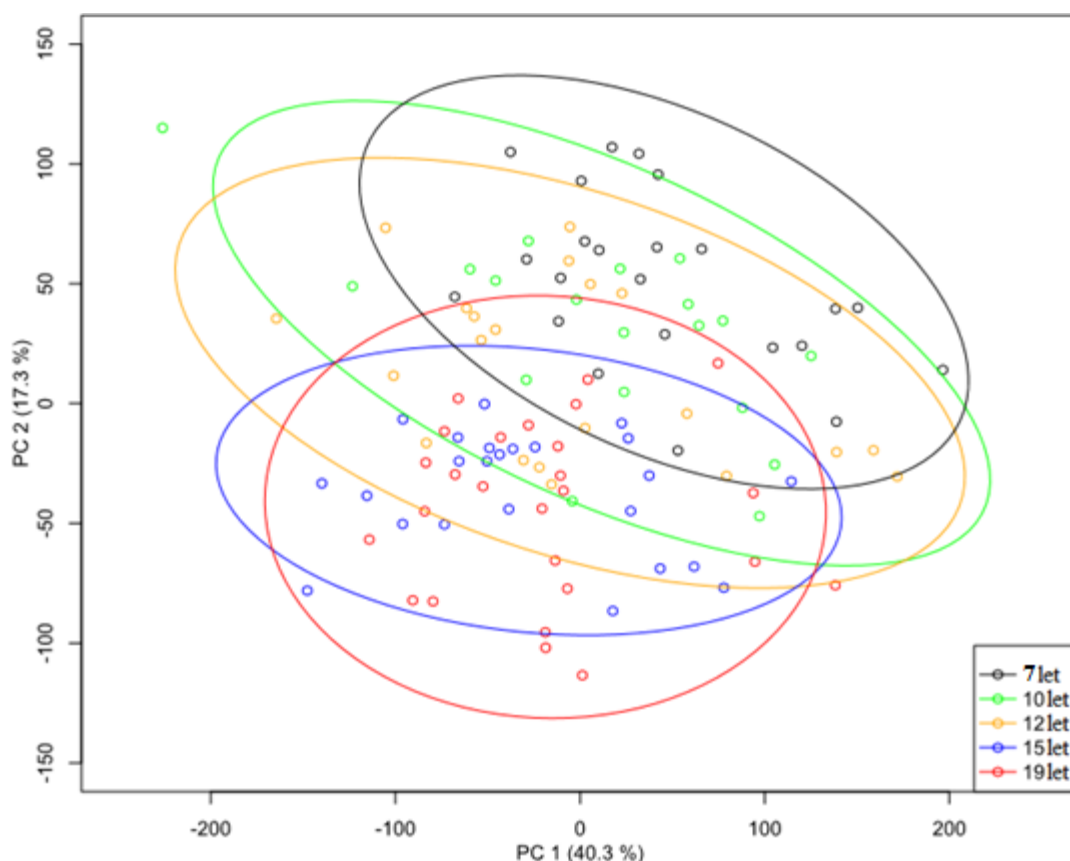
Na celkové variabilitě formy patra u dívek se nejvíce podílí prvních pět hlavních komponent, které byly určeny pomocí výše zmiňované dělicí čáry. Komponenty významně ovlivňující variabilitu sledované skupiny jsou zobrazeny na Obr. 21. Všech pět komponent, společně s jejich procentuálním zastoupením na celkové variabilitě patra, je pak uvedeno v Tab. 5. Tyto komponenty se v součtu podílí na celkové variabilitě z 81,15 %. Dále jsme pomocí grafu *scatter plot* na Obr. 22 vyjádřili závislost hlavních komponent PC1 a PC2. V této práci se budeme nadále věnovat pouze prvním dvěma hlavním komponentám, jelikož mají největší podíl na celkové variabilitě patra. U dívek dosahuje součet tohoto procentuálního podílu prvních dvou komponent hodnoty 57,64 %.

**Tab. 5** Souhrn prvních pěti hlavních komponent vyjadřujících procentuální rozložení variability formy patra dívek.

PC	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
<b>Variabilita (%)</b>	40,33	17,31	13,01	7,00	3,50



**Obr. 21** *Scree plot* znázorňující počet nejvýznamnějších hlavních komponent ovlivňujících formu patra u všech věkových skupin dívek. Tyto nejvýznamnější komponenty leží nad červeně znázorněnou dělicí čarou (*broken stick*).

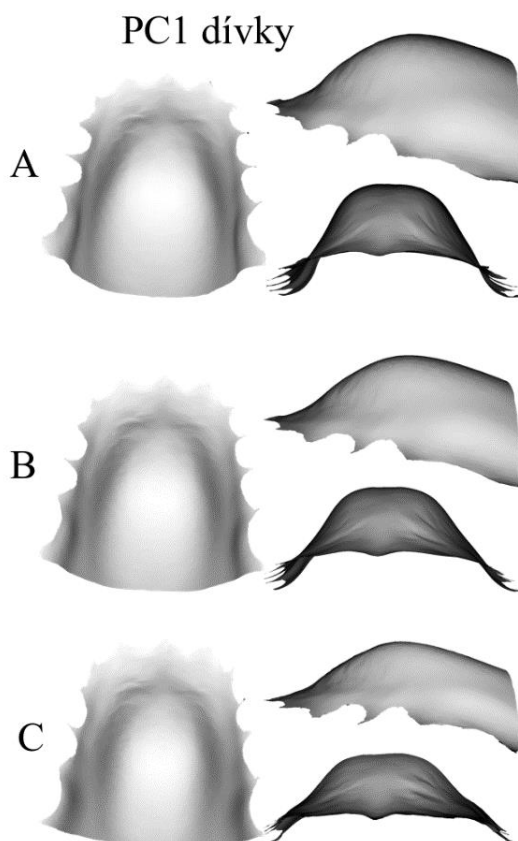


**Obr. 22** *Scatter plot* udávající závislost první a druhé hlavní komponenty, které se podílejí na variabilitě formy patra u všech věkových skupin dívek.

Na grafu *scatter plot* na Obr. 22 jsme vynesli závislost prvních dvou hlavních komponent u dívek, kterými jsou PC1 a PC2, zodpovídající za více než 50% velikostní i tvarové variability pater. Největší variability ve formě patra dosahují dívky ve věkových skupinách 10 a 12 let. Při podrobnějším zkoumání je zde dobře viditelný posun z pravého horního rohu grafu, který odpovídá nejvyšším pozitivním hodnotám první i druhé hlavní komponenty, a kde se nachází nejmladší jedinci, do levého dolního rohu, který odpovídá nejnižším negativním hodnotám první i druhé hlavní komponenty, a kde se nachází nejstarší skupiny jedinců. Posun do záporných hodnot první hlavní komponenty je oproti skupinám 10, 12 a 15 let méně patrný než posun do negativních hodnot druhé hlavní komponenty. Zde popisovaná první (PC1) a druhá (PC2) komponenta tedy odráží růst patra od nejmladších po nejstarší skupiny a umožňuje nám tak dobře sledovat růstové změny.

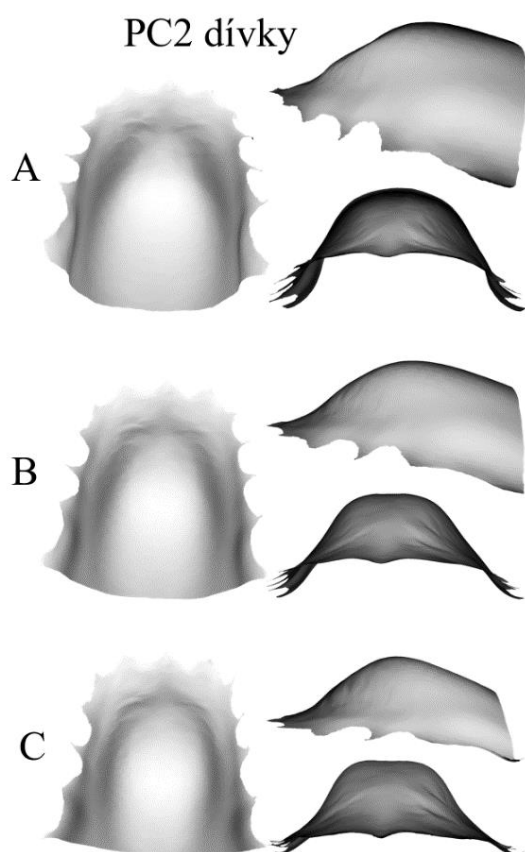
První hlavní komponenta (viz Obr. 23) vysvětluje tvarové změny patra. Patra odpovídající negativním hodnotám první hlavní komponenty jsou u dívek větší a dochází k prodlužování patra v předozadní ose. Se zvětšováním záporných hodnot dochází také ke

zvětšování jeho výšky a patra jsou tak klenutější směrem ven od ústní dutiny. Společně s rostoucími hodnotami směrem k pozitivním hodnotám první hlavní komponenty jsou patra naopak menší a kratší v předozadní ose. Zároveň je zde znatelné zmenšování výšky patra, čímž dochází k jeho narovnávání.



**Obr. 23** Variabilita formy patra u dívek daná měnící se hodnotou první hlavní komponenty: A) patro odpovídající negativním hodnotám první hlavní komponenty s hodnotou  $-250$ ; B) patro odpovídající hodnotě  $0$  první komponenty; C) patro odpovídající pozitivním hodnotám první hlavní komponenty s hodnotou  $250$ .

Druhá hlavní komponenta (viz Obr. 24) vysvětluje především velikostní změny patra. Patra odpovídající negativním hodnotám druhé hlavní komponenty jsou delší v předozadní ose a zároveň se u dívek v negativních hodnotách výrazně zvětšuje výška patra v zadní části a rozšiřují v části přední, znatelné je pak také vytáčení laterálních částí patra z horizontálního postavení více vertikálně. V pozitivních hodnotách druhé hlavní komponenty jsou patra v předozadní ose kratší, nižší v zadní části patra, a naopak vyšší a tím klenutější v jejich mediální části.



**Obr. 24** Variabilita formy patra u dívek daná měnící se hodnotou druhé hlavní komponenty: A) patro odpovídající negativním hodnotám druhé hlavní komponenty s hodnotou  $-150$ ; B) patro odpovídající hodnotě  $0$  druhé komponenty; C) patro odpovídající pozitivním hodnotám druhé hlavní komponenty s hodnotou  $150$ .

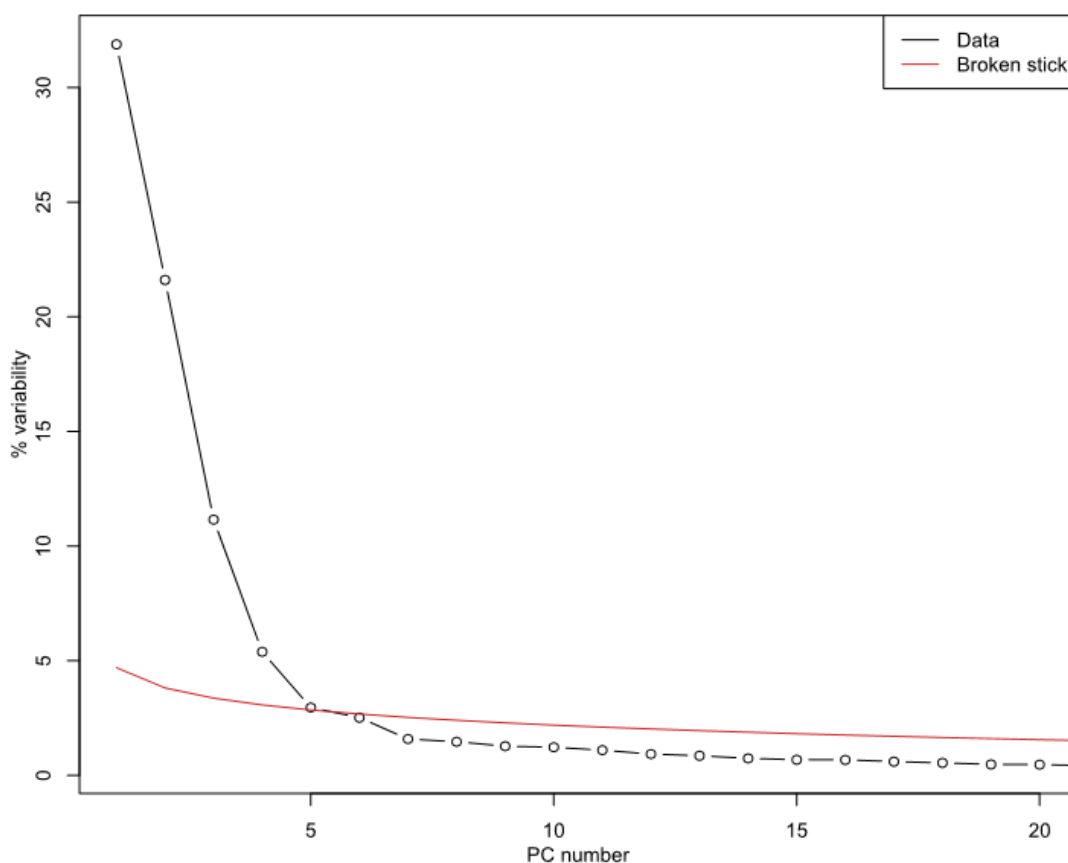
Celkově nejvyšších pozitivních hodnot první hlavní komponenty, což odpovídá nižším, rovnějším a v předozadní ose kratším patrům, dosahují u dívek jedinci nejmladší skupiny (skupina 7 let). Směrem k nejstarším jedincům (skupina 19 let) dochází k stále většímu posunu do negativních hodnot, které odpovídají větším, vyšším, delším a relativně užším patrům. U druhé hlavní komponenty pak nejvyšších pozitivních hodnot, odpovídající menším, kratším a v zadní části nižším patrům, u kterých je v mediální části znatelné zvětšení jejich výšky a patra jsou tak klenutější, dosahují u dívek nejmladší jedinci (skupina 7 let). Směrem k nejstarším jedincům (skupina 19 let) dochází k stále většímu posunu do negativních hodnot, které odpovídají větším, delším a v zadní části vyšším patrům.

### 6.1.2. Vliv hlavních komponent na tvar patra u dívek

Stejně jako u variability formy patra, tak i zde se na celkové variabilitě tvaru patra u dívek nejvíce podílí prvních pět hlavních komponent, určených pomocí dělicí čáry (viz Obr. 25). Všech pět hlavních komponent, společně s jejich procentuálním zastoupením na celkové variabilitě patra, je pak uvedeno v Tab. 6. Tyto komponenty se v součtu podílí na celkové variabilitě z 73,07 %. Dále jsme pomocí grafu *scatter plot* na Obr. 26 vyjádřili závislost hlavních komponent PC1 a PC2, které mají největší vliv na celkovou variabilitu tvaru patra.

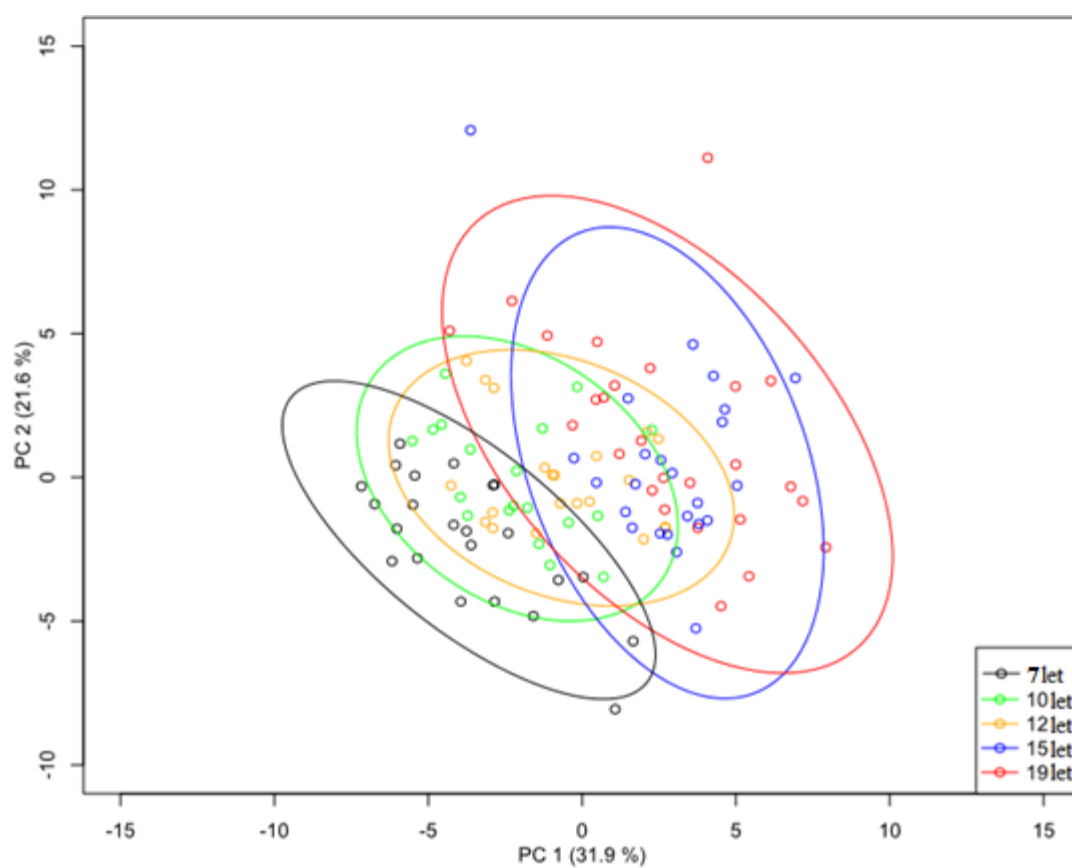
**Tab. 6** Souhrn prvních pěti hlavních komponent vyjadřujících procentuální rozložení variability tvaru patra dívek.

PC	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Variabilita (%)	31,90	21,61	11,20	5,40	2,96



**Obr. 25** *Scree plot* znázorňující počet nejvýznamnějších hlavních komponent ovlivňujících tvar patra u všech věkových skupin dívek. Tyto nejvýznamnější komponenty leží nad červeně znázorněnou dělicí čarou (*broken stick*).



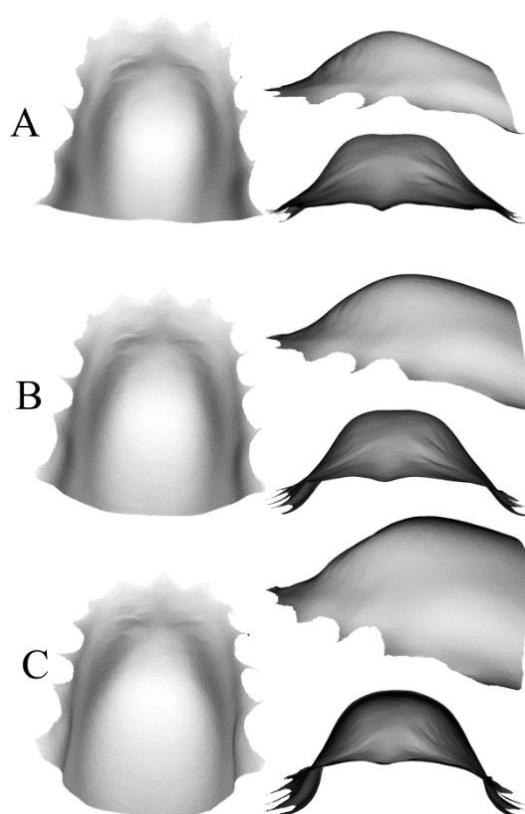


**Obr. 26** *Scatter plot* udávající závislost první a druhé hlavní komponenty, které se podílejí na variabilitě tvaru patra u všech věkových skupin dívek.

*Scatter plot* na Obr. 26 jsme využili k vynesení závislosti prvních dvou hlavních komponent u dívek, kterými jsou PC1 a PC2, zodpovídající opět za více než 50% tvarové variability patra. Tyto komponenty dobře odráží tvarové změny patra od nejmladší po nejstarší věkovou skupinu, neboť zde dochází k posunu od nejmladší skupiny dívek, ležící v levé spodní části grafu a odpovídající nejvyšším negativním hodnotám první i druhé hlavní komponenty, k nejstarší skupině dívek, která se nachází výrazně více v pravé části grafu a zároveň o něco výše, což odpovídá výrazně vyšším hodnotám první hlavní komponenty a mírně vyšším hodnotám hlavní druhé komponenty. Největší variability ve tvaru patra pak dosahuje nejstarší skupina jedinců, což odpovídá věkové skupině 19 let. Naopak u mladších skupin je variabilita nižší, a to především ve věkové skupině 7 let. Zde popisovaná první (PC1) a druhá (PC2) komponenta tedy dobře odráží tvarové změny patra, ke kterým dochází v průběhu jeho vývoje od nejmladších věkových skupin po nejstarší skupiny.

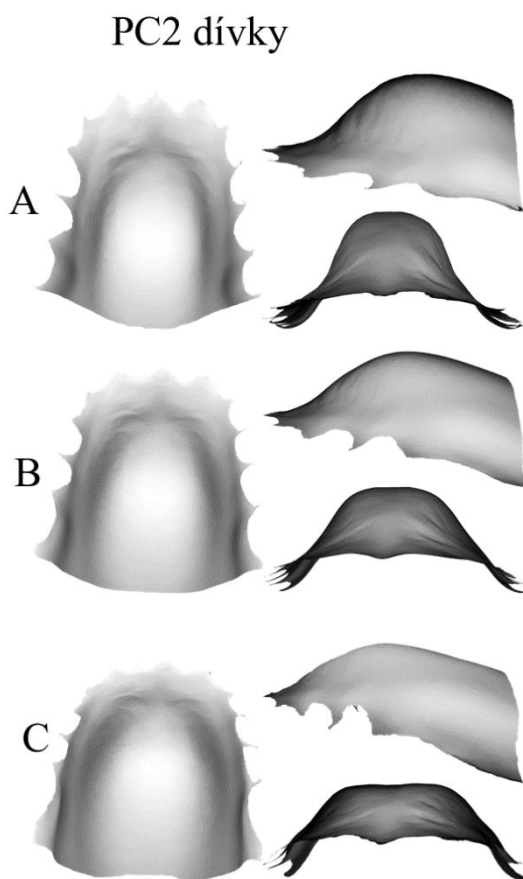
První hlavní komponentu a její vliv na variabilitu tvaru patra můžeme vidět na Obr. 27. Patra odpovídající negativním hodnotám první hlavní komponenty jsou relativně delší v předozadním směru a relativně široká ve směru transversálním. Zároveň v negativních hodnotách první hlavní komponenty dochází ke zmenšování výšky patra a jeho výraznému vyklenutí směrem ven od ústní dutiny v jeho mediální části. V pozitivních hodnotách první hlavní komponenty jsou naopak patra relativně kratší v předozadním směru a relativně užší ve směru transversálním. Zároveň s rostoucími pozitivními hodnotami dochází ke zvětšování výšky patra a také vytáčení laterálních částí patra z horizontálního postavení více vertikálně.

### PC1 dívky



**Obr. 27** Variabilita tvaru patra u dívek daná měnící se hodnotou první hlavní komponenty: A) patro odpovídající negativním hodnotám první hlavní komponenty s hodnotou  $-10$ ; B) patro odpovídající hodnotě  $0$  první komponenty; C) patro odpovídající pozitivním hodnotám první hlavní komponenty s hodnotou  $10$ .

Druhou hlavní komponentu a její vliv na variabilitu patra u dívek můžeme vidět na Obr. 28. Patra odpovídající negativním hodnotám druhé hlavní komponenty jsou vyšší, relativně kratší v předozadním směru a užší ve směru transversálním. V pozitivních hodnotách druhé hlavní komponenty mají naopak patra menší výšku a jsou tedy rovnější, relativně delší v předozadním směru a širší ve směru transversálním.



**Obr. 28** Variabilita tvaru patra u dívek daná měnící se hodnotou druhé hlavní komponenty: A) patro odpovídající negativním hodnotám druhé hlavní komponenty s hodnotou  $-10$ ; B) patro odpovídající hodnotě  $0$  druhé komponenty; C) patro odpovídající pozitivním hodnotám druhé hlavní komponenty s hodnotou  $10$ .

Celkově nejvyšších negativních hodnot první hlavní komponenty, což odpovídá nižším, relativně delším a transverzálně relativně širším patrům, dosahují u dívek jedinci nejmladší skupiny (skupina 8 let). Směrem k nejstarším jedincům (skupina 19 let) dochází k stále většímu posunu do pozitivních hodnot první hlavní komponenty, které odpovídají vyšším, relativně kratším a transverzálně užším patrům, u kterých dochází k vytáčení laterálních částí patra z horizontálního postavení více vertikálně. U druhé hlavní komponenty pak nejvyšších negativních hodnot, odpovídajících vyšším, relativně kratším a transverzálně užším patrům, dosahují u dívek nejmladší jedinci (skupina 7 let). Směrem k nejstarším jedincům (skupina 19 let) dochází k stále většímu posunu do negativních hodnot, které odpovídají nižším, relativně delším a transverzálně širším patrům.

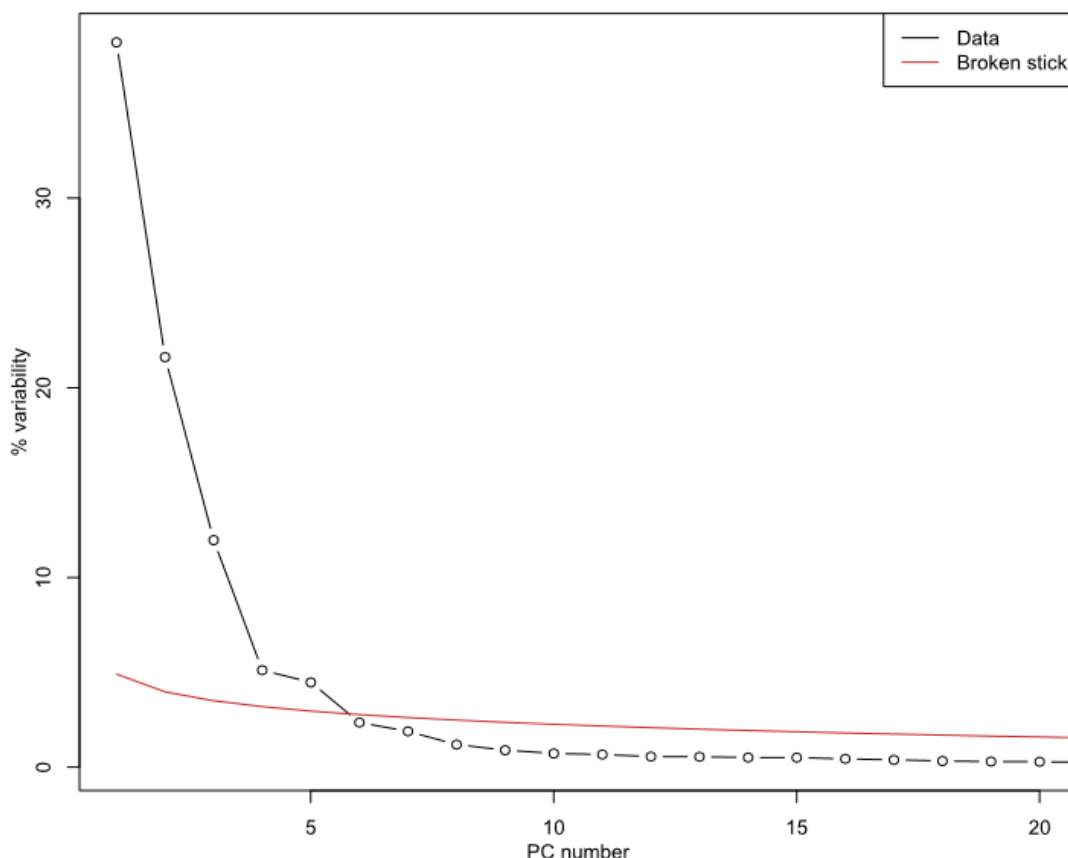
### 6.1.3. Vliv hlavních komponent na formu patra u chlapců

Na celkové variabilitě formy patra se u chlapců, stejně jako u dívek, nejvíce podílí prvních pět hlavních komponent. Ty byly určeny pomocí dělicí čáry (*broken stick*), protože právě

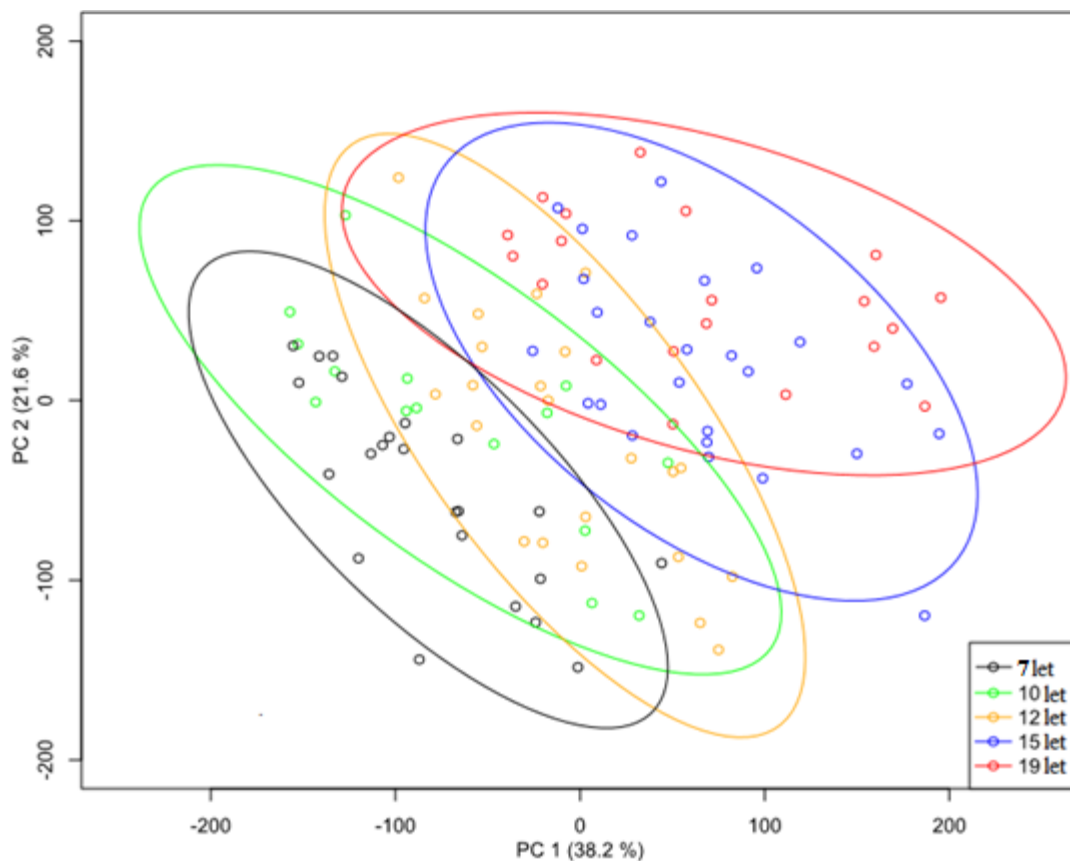
ony nesou dostatečné množství informace, aby signifikantně přispívaly k celkové variabilitě sledovaných skupin jedinců (viz Obr. 29). Všech pět komponent, společně s jejich procentuálním zastoupením na celkové variabilitě patra, je pak uvedeno v Tab. 7. Tyto komponenty se v součtu podílí na celkové variabilitě z 81,45 %. Dále jsme pomocí grafu *scatter plot* na Obr. 30 vyjádřili závislost hlavních komponent PC1 a PC2. Dále se v práci budeme věnovat pouze prvním dvěma hlavním komponentám, jelikož mají největší podíl na celkové variabilitě patra. U chlapců dosahuje součet tohoto procentuálního podílu prvních dvou komponent hodnoty 59,83 %.

**Tab. 7** Souhrn prvních pěti hlavních komponent vyjadřujících procentuální rozložení variability formy patra chlapců.

PC	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Variabilita (%)	38,21	21,62	12,00	5,12	4,50



**Obr. 29** *Scree plot* znázorňující počet nejvýznamnějších hlavních komponent ovlivňujících formu patra u všech věkových skupin chlapců. Tyto nejvýznamnější komponenty leží nad červeně znázorněnou dělicí čarou (*broken stick*).

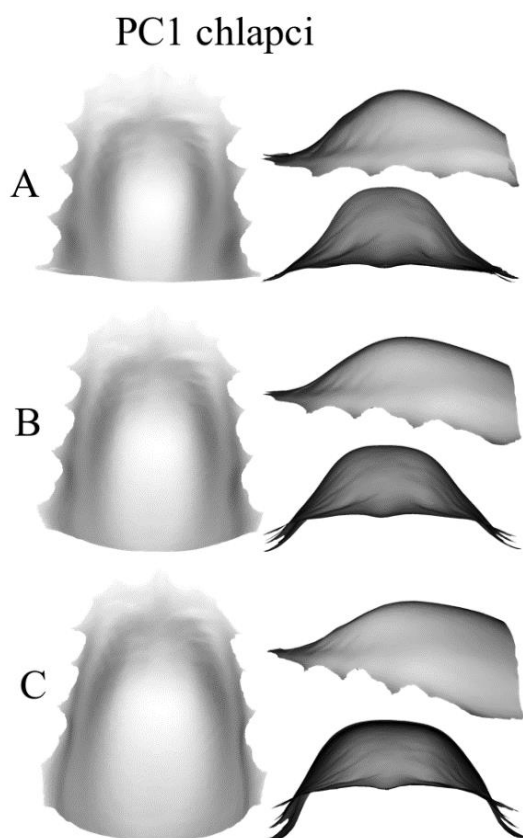


**Obr. 30** *Scatter plot* udávající závislost první a druhé hlavní komponenty, které se podílejí na variabilitě formy patra u všech věkových skupin chlapců.

Na grafu *scatter plot* na Obr. 30 jsme vynesli závislost prvních dvou hlavních komponent chlapců, kterými jsou PC1 a PC2, zodpovídající za více než 50% velikostní i tvarové variability pater u chlapců. Největší variability ve formě patra dosahuje skupina 10 let a směrem k nejmladší skupině 7letých variabilita stále klesá. Při podrobnějším zkoumání je zde dobře viditelný posun z levého dolního rohu, který odpovídá nejvyšším negativním hodnotám první i druhé hlavní komponenty, a kde se nachází nejmladší jedinci, směrem do pravého horního rohu, který odpovídá nejvyšším pozitivním hodnotám první i druhé hlavní komponenty, kde se nachází nejstarší skupina jedinců. Zde popisovaná první (PC1) a druhá (PC2) komponenta tedy odráží růst patra od nejmladších po nejstarší skupiny, což nám umožní dobře sledovat růstové změny.

První hlavní komponenta (viz Obr. 31) vysvětluje velikostní změny patra. Patra odpovídající negativním hodnotám první hlavní komponenty jsou u chlapců menší, kratší a transverzálně relativně širší. Se zvětšováním negativních hodnot dochází také ke zmenšování výšky patra, především v jeho zadní části a zvyšování výšky patra v mediální části, kde jsou tak patra klenutější. V pozitivních hodnotách první hlavní

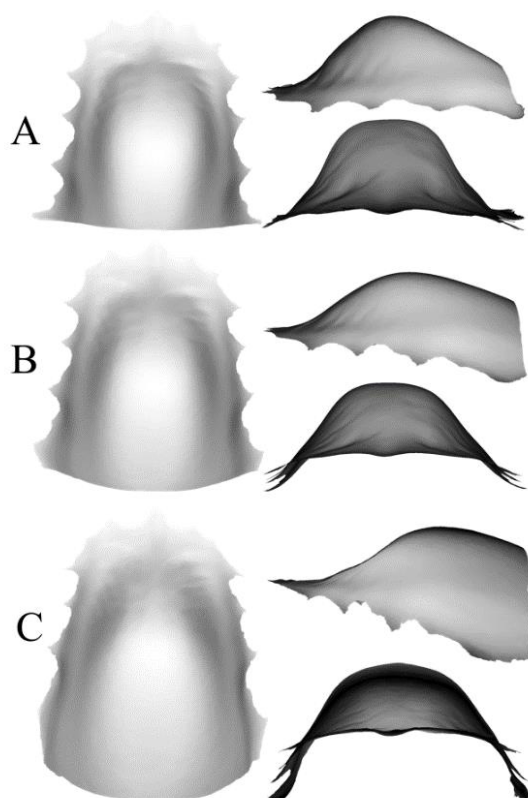
komponenty jsou naopak patra chlapců větší, delší, transversálně relativně užší a vyšší, a to především v jeho zadní části. Dále je znatelné také vytáčení laterálních částí patra z horizontálního postavení více vertikálně.



**Obr. 31** Variabilita formy patra u chlapců daná měnící se hodnotou první hlavní komponenty: A) patro odpovídající negativním hodnotám první hlavní komponenty s hodnotou – 250; B) patro odpovídající hodnotě 0 první komponenty; C) patro odpovídající pozitivním hodnotám první hlavní komponenty s hodnotou 250.

Druhá hlavní komponenta (viz Obr. 32) vysvětluje především tvarové změny patra. Patra odpovídající negativním hodnotám druhé hlavní komponenty jsou u chlapců kratší. Zároveň dochází v negativních hodnotách ke zvětšování výšky patra v mediální části, čímž se zde patro stává klenutější a současně dochází ke zmenšování jeho výšky v části zadní. Také je zde znatelné vytáčení laterálních částí patra do horizontálního postavení. V pozitivních hodnotách druhé hlavní komponenty jsou patra delší, dochází zde ke zvětšování výšky patra v zadní části a současně zmenšování výšky v části mediální, čímž v mediální části dochází k výraznému oplošťování patra. V neposlední řadě je v pozitivních hodnotách druhé hlavní komponenty znatelné vytáčení laterálních částí patra z horizontálního postavení více vertikálně.

## PC2 chlapci



**Obr. 32** Variabilita formy patra u chlapců daná měnící se hodnotou druhé hlavní komponenty: A) patro odpovídající negativním hodnotám druhé hlavní komponenty s hodnotou  $-200$ ; B) patro odpovídající hodnotě  $0$  druhé komponenty; C) patro odpovídající pozitivním hodnotám druhé hlavní komponenty s hodnotou  $200$ .

Celkově nejvyšších pozitivních hodnot první hlavní komponenty, což odpovídá větším, delším, transverzálně relativně užšíma v především v zadní části vyšším patrům, dosahují u chlapců jedinci nejstarší skupiny (skupina 19 let). Směrem k nejmladším jedincům (skupina 7 let) dochází k stále většímu posunu do negativních hodnot, které odpovídají menším, kratším, transverzálně relativně širším patrům a v zadní části nižším patrům, která jsou však naopak vyšší a klenutější v mediální části. U druhé hlavní komponenty pak dosahují nejvyšších pozitivních hodnot, odpovídajících delším, transverzálně relativně užším patrům, která jsou vyšší v zadní části a nižší v mediální části, čímž v této části patra dochází k jeho výraznému oploštění, nejstarší jedinci (skupina 19 let). Také je u nich znatelné vytáčení laterálních částí patra z horizontálního postavení více vertikálně. Od nejstarších (19 let) k nejmladším jedincům (7 let) pak dochází k stále většímu posunu do negativních hodnot, které odpovídají kratším a transverzálně relativně širším patrům. Zároveň jsou tato patra vyšší v přední, čímž zde dochází k jejich vyklenování a nižší



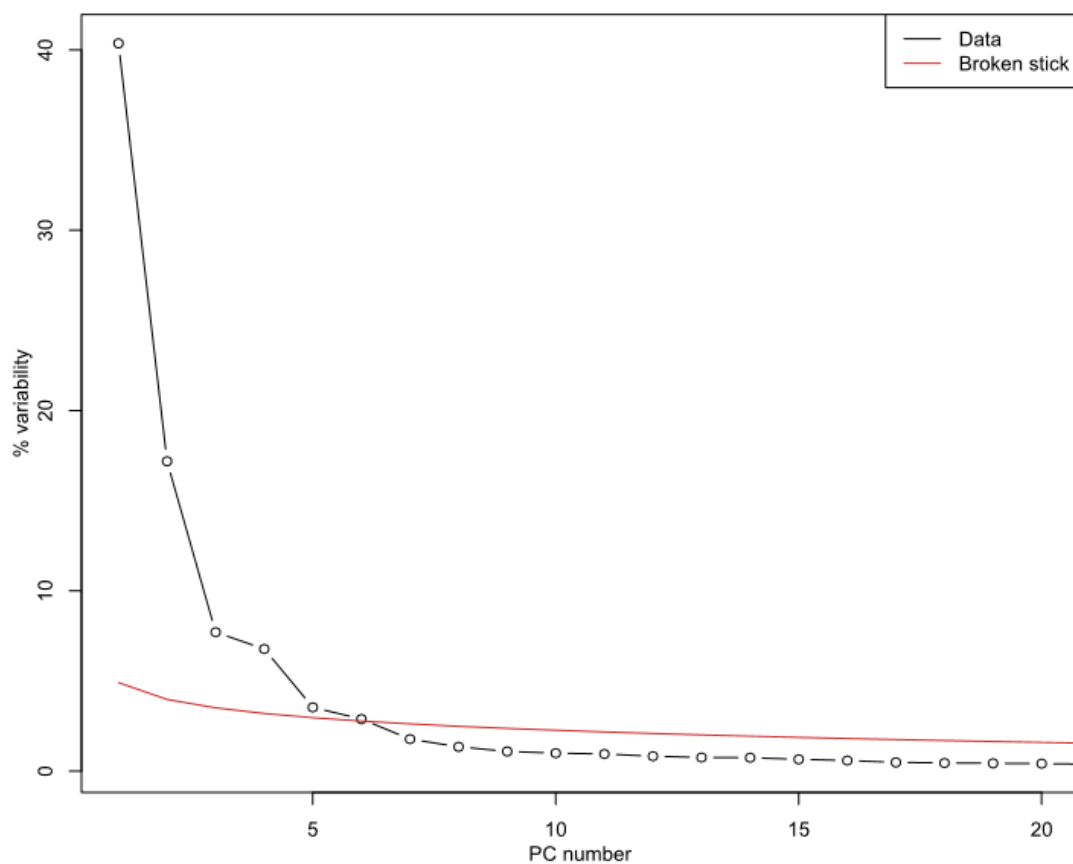
v zadní části. Také je zde znatelné vytáčení laterálních částí patra do horizontálního postavení.

#### 6.1.4. Vliv hlavních komponent na tvar patra u chlapců

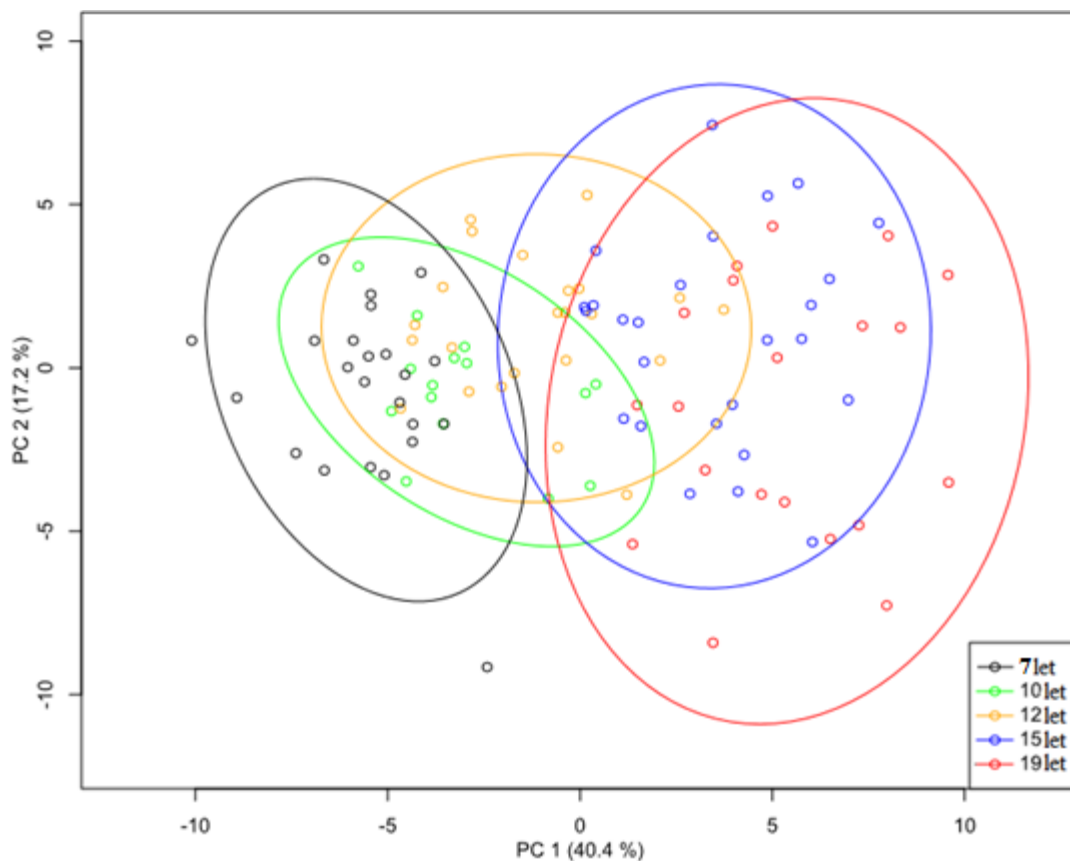
U chlapců se na celkové variabilitě tvaru patra nejvíce podílí prvních šest hlavních komponent. Tyto komponenty byly určeny pomocí dělicí čáry (*broken stick*), protože právě ony nesou dostatečné množství informace, aby významně přispívaly k celkové variabilitě sledovaných skupin jedinců (viz Obr. 33). Všech šest hlavních komponent, společně s jejich procentuálním zastoupením na celkové variabilitě patra, je pak uvedeno v Tab. 8. Tyto komponenty se v součtu podílí na celkové variabilitě z 78,45 %. Dále jsme pomocí grafu *scatter plot* na Obr. 34 vyjádřili závislost hlavních komponent PC1 a PC2, které mají největší vliv na celkovou variabilitu tvaru patra u chlapců.

**Tab. 8** Souhrn prvních šesti hlavních komponent vyjadřujících procentuální rozložení variability tvaru patra chlapců.

PC	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
<b>Variabilita (%)</b>	40,40	17,12	7,71	6,78	3,54	2,90



**Obr. 33** *Scree plot* znázorňující počet nejvýznamnějších hlavních komponent ovlivňujících tvar patra u všech věkových skupin chlapců. Tyto nejvýznamnější komponenty leží nad červeně znázorněnou dělicí čarou (*broken stick*).

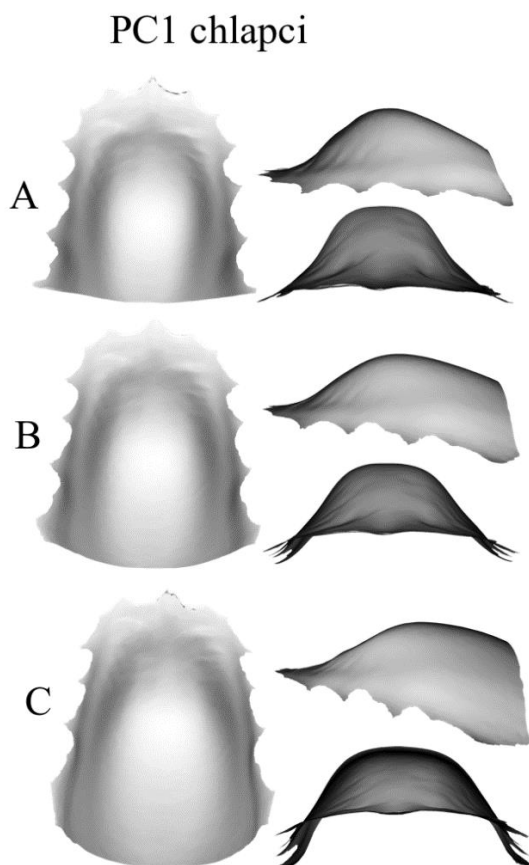


**Obr. 34** *Scatter plot* udávající závislost první a druhé hlavní komponenty, které se podílejí na variabilitě tvaru patra u všech věkových skupin chlapců.

Na grafu *scatter plot* na Obr. 34 jsme vynesli závislost prvních dvou hlavních komponent chlapců, kterými jsou PC1 a PC2. Stejně jako tomu bylo i u dívek, zodpovídají za více než 50% tvarové variability pater u chlapců. Zde popisovaná první (PC1) a druhá (PC2) komponenta dobře odráží tvarové změny patra, ke kterým dochází v průběhu jeho vývoje od nejmladších věkových skupin po nejstarší skupiny. To znázorňuje posun od nejmladší skupiny chlapců, ležící v levé části grafu a odpovídající nejvyšším negativním hodnotám první hlavní komponenty, k nejstarší skupině chlapců, která se nachází výrazně více v pravé části grafu, což odpovídá výrazně vyšším hodnotám první hlavní komponenty. Největší variability ve tvaru patra pak dosahuje nejstarší skupina jedinců, což odpovídá věkové skupině 19 let. Naopak u mladších skupin je variabilita nižší, a to především ve věkové skupině 10 let.

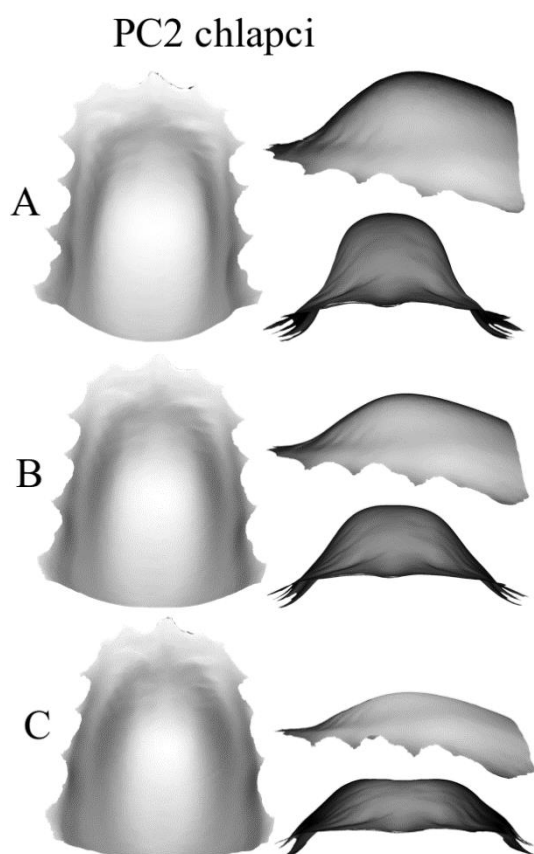
Vliv první hlavní komponenty na tvarovou variabilitu patra můžeme sledovat na Obr. 35. Patra odpovídající negativním hodnotám první hlavní komponenty jsou relativně delší v předozadním směru a relativně transversálně širší. Zároveň v negativních hodnotách

první hlavní komponenty dochází ke zmenšování výšky patra v jeho zadní části a jejímu zvětšování v části mediální, čímž se v tomto místě patro vyklenuje. V pozitivních hodnotách první hlavní komponenty jsou naopak patra relativně kratší v předozadním směru a transversálně relativně užší. Zároveň jsou také vyšší, především pak v jeho zadní části.



**Obr. 35** Variabilita tvaru patra u chlapců daná měnící se hodnotou první hlavní komponenty: A) patro odpovídající negativním hodnotám první hlavní komponenty s hodnotou  $-10$ ; B) patro odpovídající hodnotě  $0$  první komponenty; C) patro odpovídající pozitivním hodnotám první hlavní komponenty s hodnotou  $10$ .

Druhou hlavní komponentu a její vliv na variabilitu patra lze sledovat na Obr. 36. Vliv druhé hlavní komponenty na variabilitu tvaru patra chlapců se shoduje s jejím vlivem na variabilitu tvaru patra dívek, která byla popsána výše. Patra odpovídající negativním hodnotám druhé hlavní komponenty jsou tedy relativně kratší v předozadním směru, transversálně užší a narůstá jejich výška. V pozitivních hodnotách druhé hlavní komponenty jsou naopak patra relativně delší v předozadním směru, transversálně širší. Zmenšuje se také jejich výška, a patra jsou tak rovnější.



**Obr. 36** Variabilita tvaru patra u chlapců daná měnící se hodnotou druhé hlavní komponenty: A) patro odpovídající negativním hodnotám druhé hlavní komponenty s hodnotou  $-10$ ; B) patro odpovídající hodnotě  $0$  druhé komponenty; C) patro odpovídající pozitivním hodnotám druhé hlavní komponenty s hodnotou  $10$ .

Celkově nejvyšších negativních hodnot první hlavní komponenty, což odpovídá relativně delším, transverzálně relativně širším patrům, která jsou zároveň vyšší, a tedy vyklenutější v mediální části a nižší v jejich zadní části, dosahují u chlapců jedinci nejmladší skupiny (skupina 7 let). Směrem k nejstarším jedincům (skupina 19 let) dochází k stále většímu posunu do pozitivních hodnot první hlavní komponenty, které odpovídají relativně kratším, transverzálně relativně užším, a především v zadní části vyšším patrům. U nejvyšších pozitivních hodnot druhé hlavní komponenty jsou patra relativně delší, transverzálně širší a snižuje se také jejich výška a patra jsou tak rovnější. U nejvyšších negativních hodnot druhé hlavní komponenty jsou pak patra naopak relativně kratší, transverzálně užší a celkově vyšší. U druhé hlavní komponenty není viditelný výraznější posun žádné skupiny jedinců do pozitivních či negativních hodnot, ale u starších skupin jedinců je patrná větší variabilita, která zasahuje do vyšších hodnot na obou stranách.

## 6.2. Věkové změny morfologie patra u dívek

V této části práce srovnáváme vždy dvě po sobě jdoucí věkové skupiny dívek (7-10 let, 10-12 let, 12-15 let a 15-19 let). Ke zhodnocení změn ve formě patra, které odráží růstové změny, jsme využili superprojekční metody v podobě barevných map a map signifikance. Mapy signifikance zobrazují oblasti, v nichž dochází k signifikantním změnám. Zároveň zobrazují jejich p-hodnoty, přičemž oblasti vykazující nejtmaší odstín modré vykazují p-hodnotu menší než 0,001. Světější modrá označuje oblasti s p-hodnotami v rozmezí 0,01 a 0,001 a nejsvětější odstíny modré pak označují oblasti s p-hodnotou 0,05 a 0,01. Oblasti označené bílou barvou pak nevykazují žádnou statistickou signifikanci. Z barevných map lze v daném místě modelu vyčíst vzdálenost mezi průměrnými hodnotami srovnávaných skupin. Velikost těchto vzdáleností je znázorněna barevnou stupnicí, která je rozdělena na 10 barevných odstínů. Oblasti označené červenou barvou a dalšími teplými barvami vykazují negativní růstové změny (retruze) a rostou směrem dovnitř do dutiny ústní. Naopak oblasti označené modrou barvou a dalšími chladnými barvami vykazují pozitivní růstové změny (protruze) a rostou směrem ven od dutiny ústní. Zelená barva pak znázorňuje oblasti, kde není pozorovatelný rozdíl ve formě ani tvaru patra mezi sledovanými skupinami.

Dále jsme provedli zhodnocení tvarových změn pomocí superprojekčních metod v podobě barevných map a odpovídajících map signifikance, stejně jako u hodnocení změn ve formě patra. Barevná stupnice a barvám odpovídající změny jsou zde nastaveny stejně, jako tomu bylo u formy patra viz výše. Avšak protože se jedná o hodnocení tvarových změn, zanedbáváme zde velikost a promítnuté hodnoty jsou tak pouze relativní a bezrozměrné.

Nakonec jsme vytvořili superprojekci, která znázorňuje rozdíly ve formě a tvaru patra mezi průměrnými patry daných skupin. Zde tmavě oranžová barva značí mladší z obou skupin, tmavě zelená barva značí starší z obou skupin a světle zelená společně se světle oranžovou barvou značí oblasti, kde se patra obou skupin překrývají.

### 6.2.1. Věkové změny formy patra u dívek

Na Obr. 37 jsou zobrazeny rozdíly ve formě patra v průběhu vývoje jeho formy u dívek. V rámci tohoto pozorování jsme vždy porovnávali dvě po sobě jdoucí věkové skupiny dívek. Rozdíly mezi těmito skupinami jsme pak hodnotili na základě barevných map, map signifikance a také superprojekce neboli promítnutí pater 2 skupin jedinců na sebe, dobře znázorňující rozdíl ve velikosti a tvaru mezi průměrnými patry daných skupin.

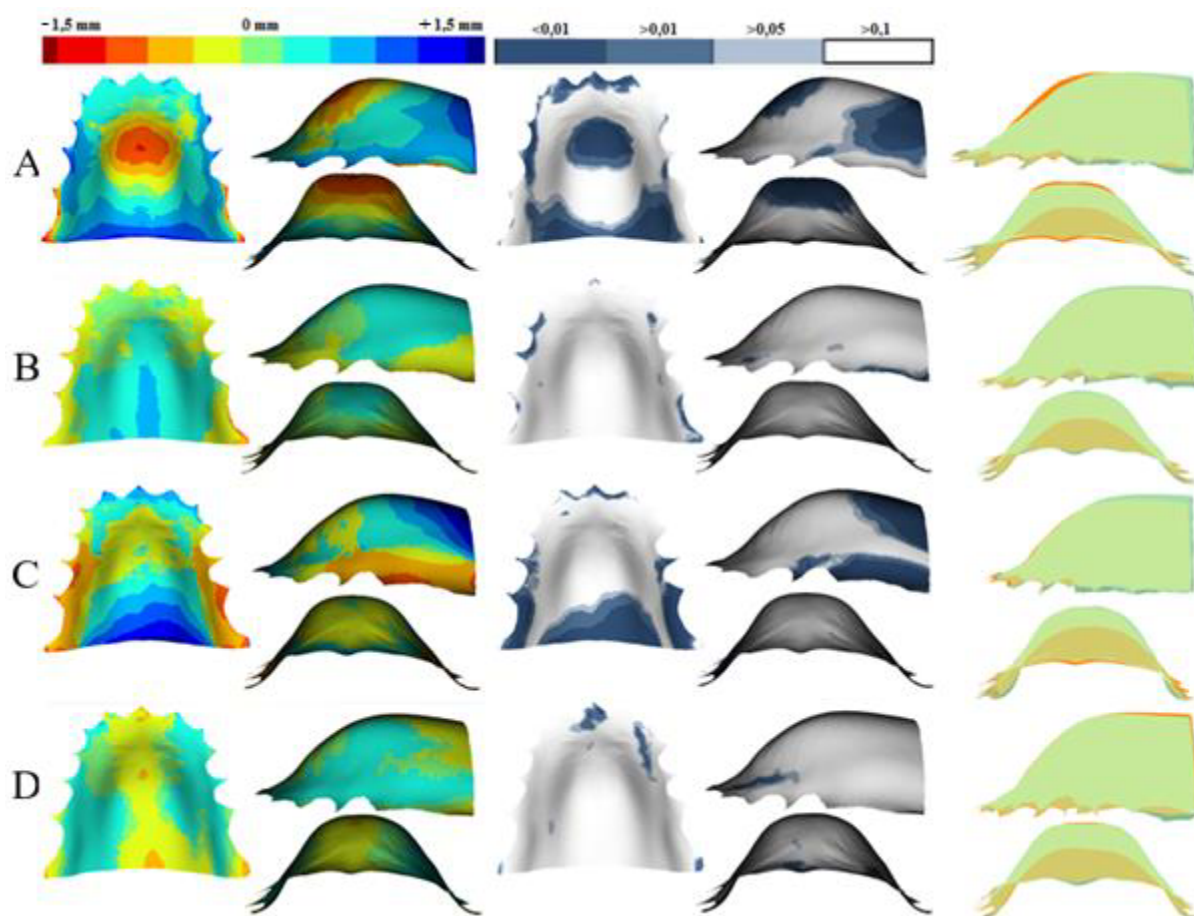
Dle map signifikance můžeme s jistotou říci, že nejvíce signifikantní růstové změny jsou patrné mezi skupinami 7 a 10letých dívek (Obr. 37 A). Zde konkrétněji dochází ve střední části patra k výraznému snižování patra u 10letých dívek, a to až o 0,9 mm. Naopak v okrajových částech patra, a především v jeho zadní části, se patra skupiny 10letých dívek zvětšují směrem ven od dutiny ústní. Tím dochází k jejich prodlužování a rozšiřování až o 0,3 mm a zároveň dochází k nárůstu jejich výšky. Nejvíce pak u zadního okraje, kde se zvyšují až o 0,9 mm. Pouze v zadní části patra dochází v okrajových částech k mírnému redukování šířky.

Další významné signifikantní změny lze sledovat mezi skupinami 12 a 15letých dívek (Obr. 37 C). Zde s přibývajícím věkem dochází k signifikantním změnám v laterálních částech patra, kde k růstu patra směrem ven z ústní dutiny (přibližně o 0,6 mm), čímž dochází k relativnímu zúžení patra, a to především v zadní části, zatímco v přední části se patro téměř nemění. Ve středové oblasti zadní části patra také dochází u starší skupiny dívek k zvětšování patra směrem ven z ústní dutiny, což má za následek zvyšování a prodlužování patra v této oblasti. V zadní části se tak patra 15letých dívek oproti mladší skupině zvyšují až o 1,2 mm.

Mezi skupinami 10 a 12letých dívek (Obr. 37 B) nejsou patrné téměř žádné signifikantní růstové změny. Dle barevných map můžeme pozorovat pouze mírné zvětšování patra směrem ven z dutiny ústní po celém jeho povrchu, kromě laterálních oblastí v místě alveolárních výběžků, především pak v zadní části patra, kde naopak dochází k zvětšování patra směrem dovnitř do dutiny ústní a tím se patro relativně zužuje. Celkově tento růst tedy značí zvyšování, prodlužování a relativní zužování patra směrem ke straším jedincům. Hodnoty změn jsou zde do 0,3 mm, kromě mediální oblasti zadní části patra, kde se patro zvyšuje až o 0,6 mm.

Stejně tak mezi skupinami 15 a 19letých dívek (Obr. 37 D) již nejsou patrné téměř žádné signifikantní změny. Dle barevných map však můžeme u skupiny 19letých dívek pozorovat

v mediální oblasti po celé délce mírné zmenšení výšky patra, což by mohlo mít souvislost spíše s transversálním typem souboru dat.



**Obr. 37** Barevná mapa vizualizující změny formy patra u dívek (vlevo), kde oblasti zbarvené teplými barvami rostou směrem dovnitř do ústní dutiny a oblasti zbarvené chladnými barvami rostou směrem ven od ústní dutiny. Zelené oblasti se nemění. Mapy signifikance (uprostřed) vizualizující nejvíce signifikantní oblasti. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách. Promítnutí průměrných pater 2 skupin jedinců na sebe (vpravo) znázorňující rozdíl ve formě patra mezi průměrnými patry daných skupin dívek, kde tmavě oranžová barva značí mladší z obou skupin, tmavě zelená barva značí starší z obou skupin a světle zelená společně se světle oranžovou barvou značí oblasti, kde se patra obou skupin překrývají. **A)** rozdíly mezi věkovými skupinami 7 a 10 let, **B)** rozdíly mezi věkovými skupinami 10 a 12 let, **C)** rozdíly mezi věkovými skupinami 12 a 15 let, **D)** rozdíly mezi věkovými skupinami 15 a 19 let.



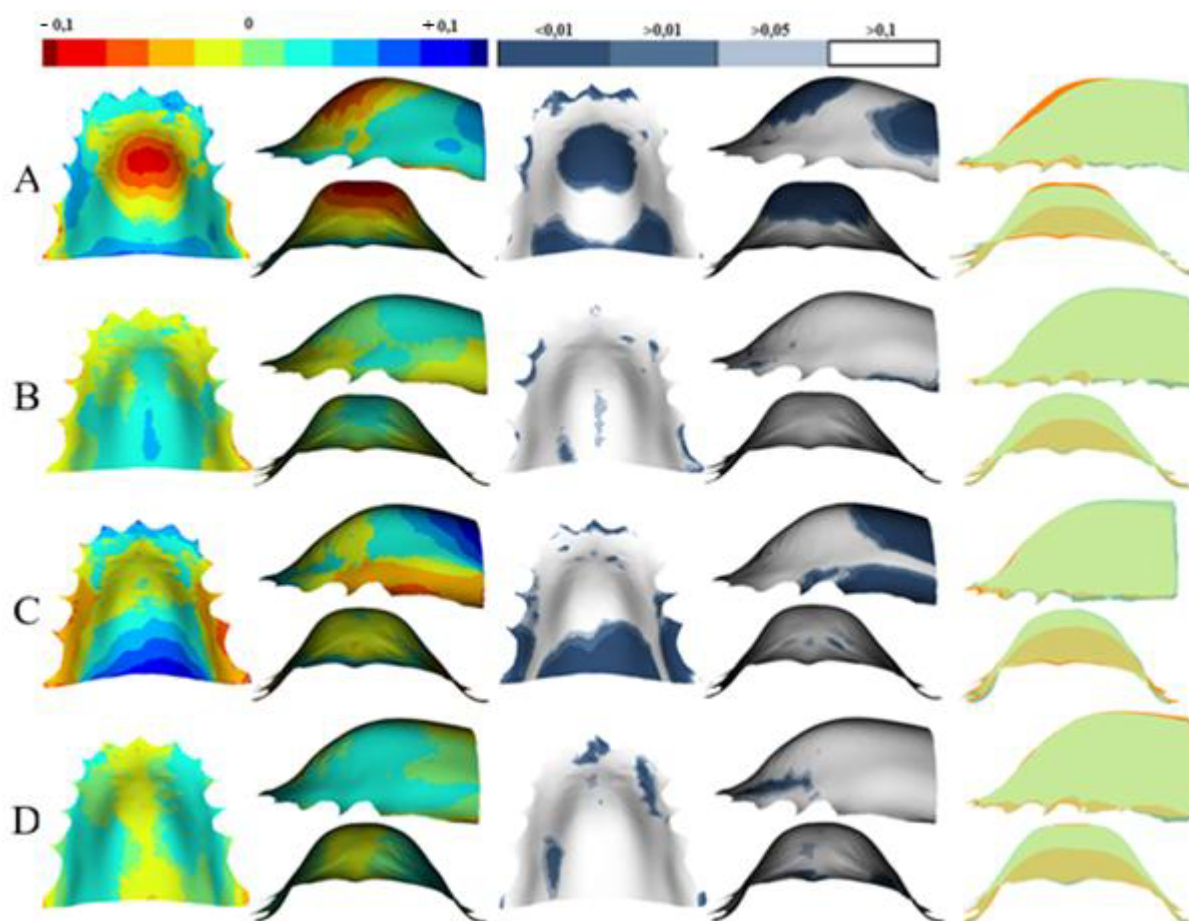
### 6.2.2. Věkové změny tvaru patra u dívek

Tvarové rozdíly ve vývoji patra dívek jsou zobrazeny na Obr. 38. Stejně jako u formy patra dívek, i zde jsou porovnávány vždy dvě po sobě jdoucí věkové skupiny dívek. Rozdíly jsme poté hodnotili pomocí barevných map, map signifikance a superprojekce neboli promítnutí pater 2 skupin jedinců na sebe.

Dle map signifikance je na první pohled patrné, že nejvíce signifikantní změny ve tvaru patra se objevují mezi stejnými věkovými skupinami dívek, jako tomu bylo již výše u formy patra. To znamená, že nejvíce signifikantní změny můžeme sledovat mezi skupinami 7 a 10letých dívek (Obr. 38 A), kde směrem k 10letým dívkám dochází ke zmenšování výšky patra v jeho mediální části, a tím k jeho oplošťování. Dále jsou pak patra starších dívek delší a vyšší v zadní a mírně také přední část. V zadní části se patro také relativně mírně zužuje

Další výrazně signifikantní změny ve tvaru patra jsou znatelné mezi skupinami 12 a 15letých dívek (Obr. 38 C), kde směrem k 15letým dívkám dochází k výraznému zvětšování výšky a mírnému prodlužování délky patra v jeho zadní části. V mediální části patra zaznamenáváme naopak mírné zmenšování výšky. Dále, stejně jako u formy patra, v laterálních částech patra, a to především v jeho zadní části, zaznamenáváme výrazné relativní zužování patra, zatímco v přední části se patro téměř nemění.

Mezi skupinami 10 a 12 let (Obr. 38 B) a skupinami 15 a 19 let (Obr. 38 D) pak nejsou znatelné téměř žádné signifikantní změny, stejně jako tomu bylo výše u formy patra. U skupin 10 a 12 let dochází směrem ke starší skupině dívek k velmi mírnému zvýšení patra v zadní části. V alveolární oblasti se pak patro relativně zužuje. Zatímco mezi skupinami 15 a 19 let dochází směrem ke skupině 19letých dívek ke zmenšení výšky patra v jejich předozadní ose. V dalších částech se patro nemění.



**Obr. 38** Barevná mapa vizualizující tvarové změny patra u dívek (vlevo), kde oblasti zbarvené teplými barvami rostou směrem dovnitř do ústní dutiny a oblasti zbarvené chladnými barvami rostou směrem ven od ústní dutiny. Zelené oblasti se nemění. Mapy significance (uprostřed) vizualizující nejvíce signifikantní oblasti. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách. Promítnutí průměrných pater 2 skupin jedinců na sebe (vpravo) znázorňující rozdíl ve tvaru patra mezi průměrnými patry daných skupin dívek, kde tmavě oranžová barva značí mladší z obou skupin, tmavě zelená barva značí starší z obou skupin a světle zelená společně se světle oranžovou barvou značí oblasti, kde se patra obou skupin překrývají. **A)** rozdíl mezi věkovými skupinami 7 a 10 let, **B)** rozdíl mezi věkovými skupinami 10 a 12 let, **C)** rozdíl mezi věkovými skupinami 12 a 15 let, **D)** rozdíl mezi věkovými skupinami 15 a 19 let.

### 6.3. Věkové změny morfologie patra u chlapců

V této části práce srovnáváme vždy dvě po sobě jdoucí věkové skupiny chlapců (7-10 let, 10-12 let, 12-15 let a 15-19 let). Ke zhodnocení změn ve formě patra a jeho tvarových změn, které odráží růstové změny, jsme stejně jako u dívek využili superprojekční metody v podobě barevných map a map signifikance. I zde jsme vytvořili superprojekce neboli promítnutí pater 2 skupin jedinců na sebe znázorňující rozdíly ve formě a tvaru patra mezi průměrnými patry daných skupin (podrobněji viz 6.2 Rozdíly v morfologii patra odrážející vývoj patra u dívek).

#### 6.3.1. Věkové změny formy patra u chlapců

Na Obr. 39 jsou zobrazeny rozdíly ve formě patra v průběhu jeho vývoje u chlapců. Zde stejně jako u dívek sledujeme změny formy patra mezi dvěma po sobě jdoucími věkovými skupinami chlapců. Rozdíly jsme opět hodnotili pomocí barevných map, map signifikance a superprojekce pater na sebe neboli promítnutí pater 2 skupin jedinců.

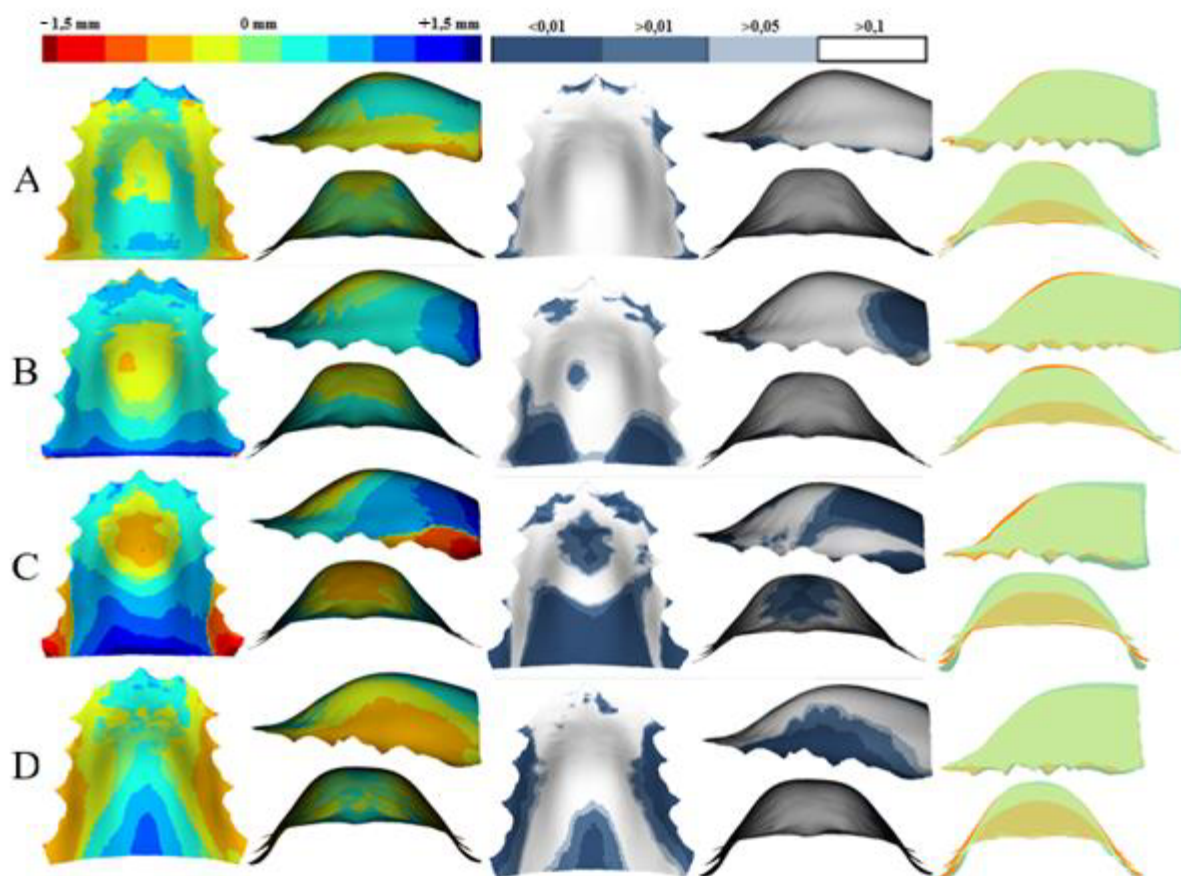
Dle map signifikance můžeme s jistotou říci, že nejvíce signifikantní růstové změny probíhají mezi skupinami 12 a 15letých chlapců (Obr. 39 C). Mezi těmito věkovými skupinami dochází, směrem ke starší skupině chlapců, v mediální části patra k zmenšování patra směrem dovnitř do ústní dutiny a tím dochází ke zmenšování jeho výšky v této oblasti až o 0,6 mm, čímž se zde patro oplošťuje. Dále se v alveolární části patra v místě stoliček patro zvětšuje směrem dovnitř do dutiny ústní až o 1,2 mm a dochází tak k relativnímu zužování patra. Naopak ve zbylých okrajových částech patra, a především v celé jeho zadní části, dochází směrem k 15letým chlapcům k růstu patra směrem ven od dutiny ústní. Tím se patro v zadní části prodlužuje a zvětšuje svou výšku, a to i více než o 1,5 mm u jejich posteriorního okraje.

Další významné signifikantní změny lze sledovat mezi skupinami 10 a 12letých chlapců (Obr. 39 B). Zde jsou patra starší skupiny chlapců v přední části o 0,6 mm a v zadní části o 0,9 mm vyšší a zároveň se v zadní části patra výrazně prodlužují. Pouze v mediální oblasti patra dochází u starších chlapců ke zmenšení výšky patra, jejich růstem směrem dovnitř do ústní dutiny, a to přibližně o 0,3 mm, čímž se v tomto místě patra mírně oplošťují.

Na rozdíl od dívek jsou u chlapců další signifikantní změny výrazné i mezi nejstaršími skupinami, kterými jsou skupiny 15 a 19 let (Obr. 39 D). Mezi těmito skupinami jsou změny nejvíce patrné v laterálních oblastech patra a také v zadní části patra. V laterálních

oblastech patra dochází u starších chlapců k výrazným růstu patra směrem dovnitř do dutiny ústní až o 0,6 mm, čímž dochází k relativnímu zúžení patra, a to po celé jeho délce. Zároveň u nich v mediální oblasti zadní části patra dochází k výraznému zvětšování výšky patra až o 0,9 mm. V přední části patra, pak také dochází ke zvětšování výšky patra, ale pouze o 0,3 mm.

Zcela odlišná je situace u nejmladších porovnávaných skupin chlapců, kterými jsou skupiny 7 a 10 let (Obr. 39 A), jelikož zde nejsou patrné téměř žádné signifikantní změny. Dle barevných map však můžeme říci, že dochází k mírnému růstu patra směrem dovnitř do dutiny ústní v jeho laterálních částech, čímž dochází k relativnímu zužování patra. A dochází také k mírnému zmenšení výšky patra v jeho mediální oblasti u starší skupiny chlapců a patra se tak v této oblasti oplošťují. V přední a zadní části patra je pak znatelné mírné zvětšení výšky patra a zároveň je dobře znatelné také prodlužování patra v zadní části.



**Obr. 39** Barevná mapa vizualizující změny formy patra u chlapců (vlevo), kde oblasti zbarvené teplými barvami rostou směrem dovnitř do ústní dutiny a oblasti zbarvené chladnými barvami rostou směrem ven od ústní dutiny. Zelené oblasti se nemění. Mapy signifikance (uprostřed) vizualizující nejvíce signifikantní oblasti. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách. Promítnutí průměrných pater 2 skupin jedinců na sebe (vpravo) znázorňující rozdíl ve formě patra mezi průměrnými patry daných skupin chlapců, kde tmavě oranžová barva značí mladší z obou skupin, tmavě zelená barva značí starší z obou skupin a světle zelená společně se světle oranžovou barvou značí oblasti, kde se patra obou skupin překrývají. **A)** rozdíly mezi věkovými skupinami 7 a 10 let, **B)** rozdíly mezi věkovými skupinami 10 a 12 let, **C)** rozdíly mezi věkovými skupinami 12 a 15 let, **D)** rozdíly mezi věkovými skupinami 15 a 19 let.

### 6.3.2. Věkové změny tvaru patra u chlapců

Všechny tvarové změny, které sledujeme vždy porovnáním dvou po sobě jdoucích věkových skupin chlapců, jsou stejně jako u dívek zobrazeny na souhrnném obrázku níže (Obr. 40).

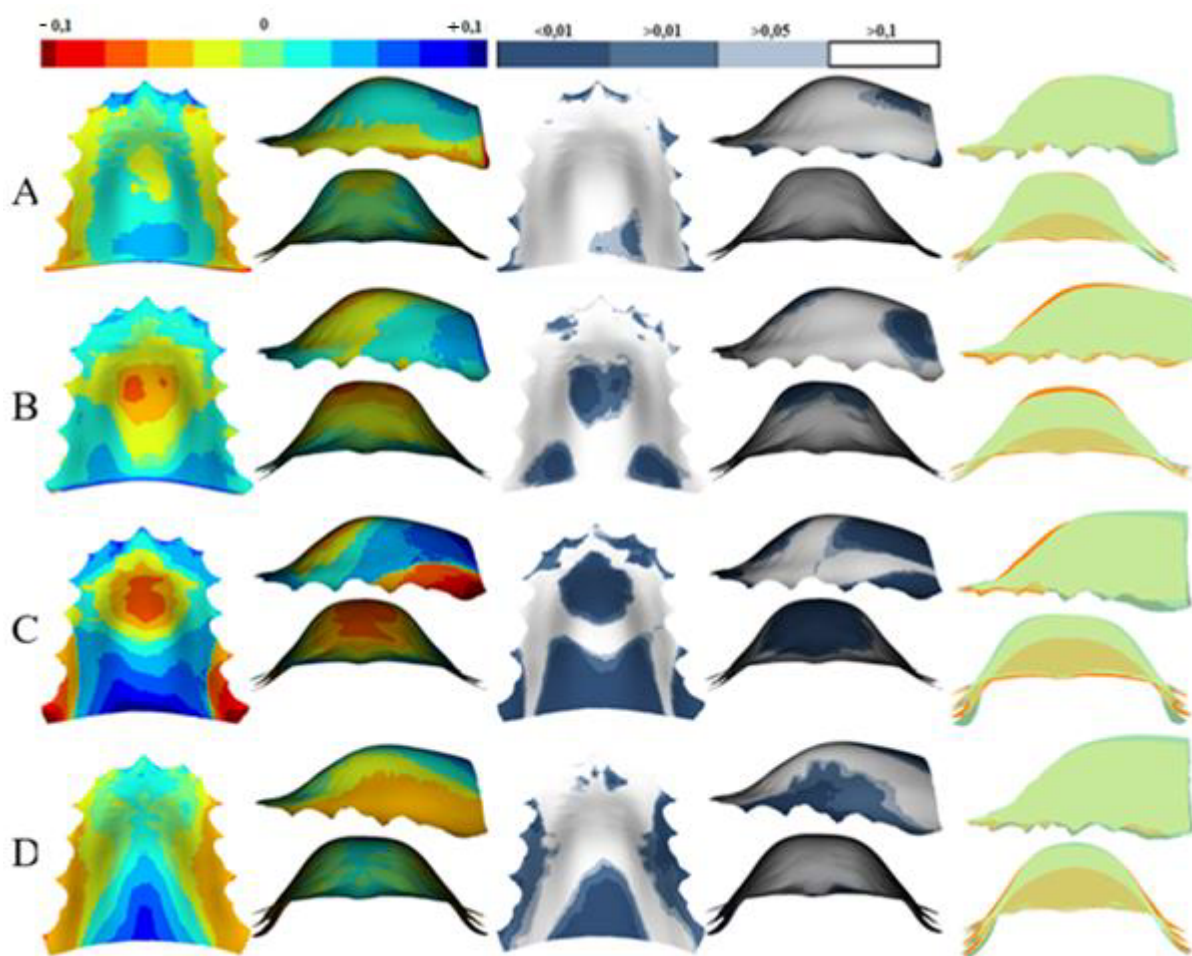
Dle map signifikance je na první pohled patrné, že nejvíce signifikantní změny ve tvaru patra se objevují mezi stejnými věkovými skupinami chlapců, jako tomu bylo výše u formy patra. To znamená, že nejvíce signifikantní změny můžeme sledovat mezi skupinami 12 a 15letých chlapců (Obr. 40 C), kde směrem k 15letým chlapcům dochází ke zmenšování

výšky patra, a tím k jeho oplošťování v jeho mediální části. Dále zde dochází ke zvyšování patra na jeho anteriorním okraji, a pak především v celé jeho zadní části, kde je rozdíl nejvýraznější. V alveolární oblasti v místě stoliček se pak patro výrazně zvětšuje směrem dovnitř do dutiny ústní a dochází tak k jeho relativnímu zúžení.

Další výrazně signifikantní změny ve tvaru patra jsou pak znatelné mezi skupinami 10 a 12letých chlapců (Obr. 40 B). Zde směrem k 12letým chlapcům opět dochází k výraznému zmenšování výšky patra v jeho střední části a tím k oplošťování této oblasti. V přední a zadní části patra a také jeho okrajových částech pak zaznamenáváme mírné zvětšení výšky patra a v zadní části také větší délku patra.

Dále jsou signifikantní tvarové změny patrné mezi skupinami chlapců 15 a 19 let (Obr. 40 D). Tyto změny jsou opět stejné, jak bylo popsáno výše u formy patra, jen zde chybí změny ve velikosti. Patra u 19letých chlapců se v laterálních oblastech výrazně zvětšují směrem dovnitř do dutiny ústní, čímž dochází k relativnímu zúžení pater u starších jedinců. V předozadní ose, nejvíce v jeho zadní a mírně také přední části, se naopak patra zvyšují.

Mezi nejmladšími porovnávanými skupinami chlapců, jimiž jsou skupiny 7 a 10 let (Obr. 40 A), pak opět nejsou znatelné téměř žádné signifikantní změny, stejně jako tomu bylo u formy patra. Při porovnání těchto skupin mají starší chlapci mírně nižší patra v jejich střední části, a naopak mírně vyšší v jejich přední a zadní části. Dále je zde patrné také zvětšení laterálních oblastí patra směrem dovnitř do dutiny ústní, čímž se patra starších chlapců relativně zužují.



**Obr. 40** Barevná mapa vizualizující tvarové změny patra u chlapců (vlevo), kde oblasti zbarvené teplými barvami rostou směrem dovnitř do ústní dutiny a oblasti zbarvené chladnými barvami rostou směrem ven od ústní dutiny. Zelené oblasti se nemění. Mapy significance (uprostřed) vizualizující nejvíce signifikantní oblasti. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách. Promítnutí průměrných pater 2 skupin jedinců na sebe (vpravo) znázorňující rozdíl ve tvaru patra mezi průměrnými patry daných skupin chlapců, kde tmavě oranžová barva značí mladší z obou skupin, tmavě zelená barva značí starší z obou skupin a světle zelená společně se světle oranžovou barvou značí oblasti, kde se patra obou skupin překrývají. **A)** rozdíl mezi věkovými skupinami 7 a 10 let, **B)** rozdíl mezi věkovými skupinami 10 a 12 let, **C)** rozdíl mezi věkovými skupinami 12 a 15 let, **D)** rozdíl mezi věkovými skupinami 15 a 19 let.



## 6.4. Porovnání změn v morfologii patra dívek a chlapců za celé sledované období

V této části práce se souhrnně podíváme na změny ve formě patra u dívek a chlapců v průběhu celého sledovaného vývoje, což znamená porovnání skupiny 7 a 19letých jedinců. Oproti předešlým kapitolám jsme zde provedli navíc analýzu FESA, jejímiž výsledky jsou barevné mapy průměrných forem pater dvou skupin jedinců. Zobrazeno je vždy průměrné patro skupiny 19 let vůči patru skupiny 7 let. Žlutá barva a další teplé odstíny značí oblasti kde došlo k relativnímu zvětšení určité části patra vůči mladší skupině jedinců, světle fialová barva značí oblasti, kde nedochází k žádnému rozdílu a bílá barva a další chladné odstíny značí oblasti, ve kterých dochází k relativnímu zmenšení patra vůči mladší skupině jedinců.

### 6.4.1. Věkové změny formy patra u dívek a chlapců mezi skupinami 7 a 19letých jedinců

Na Obr. 41 jsme porovnali formy patra u skupin 7 a 19 let u obou pohlaví. Oblasti nejvíce signifikantních změn se u dívek a chlapců shodují v mediální oblasti patra a také v jeho zadní části. U chlapců však oproti dívkám nalézáme další výrazně signifikantní oblasti v přední části patra a dále v laterálních oblastech střední a zadní části patra. U obou pohlaví můžeme tedy během námi sledovaného období sledovat nárůst výšky patra v jeho zadní části, kde výška narůstá až o 2,4 mm u dívek a 3,2 mm u chlapců a jejich patra se také výrazně prodlužují, což je výraznější u chlapců. Dále také výška patra narůstá v jeho přední části, kdy u dívek patro zvětšuje svou výšku přibližně o 0,6 mm, a to pouze v úzké oblasti patra, která se nachází nejvíce anteriorně na patře, zatímco u chlapců patro zvětšuje svou výšku v celé přední části patra přibližně o 0,8 mm.

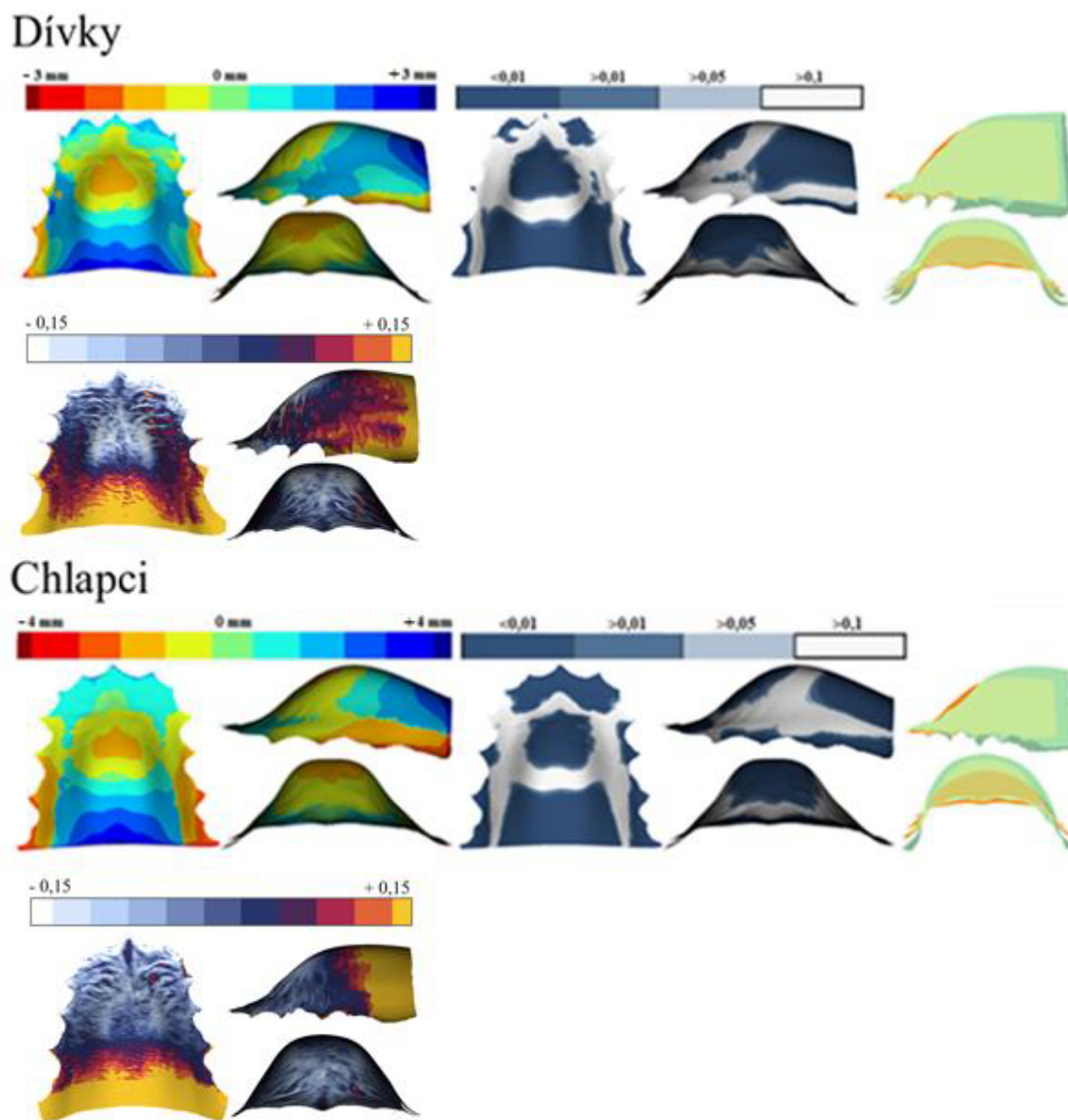
Shodné u obou pohlaví je také zmenšování výšky patra a tím jeho oplošťování v jeho mediální části. U dívek pak vybíhá tato oblast více anteriorně. Výška patra v této oblasti se během celého vývoje zmenší až o 1,2 mm u dívek a 1,6 mm u chlapců.

Oblastmi, kde probíhají odlišné změny u chlapců a dívek, jsou pak laterální oblasti patra. U chlapců v celých laterálních oblastech patra dochází k jeho zvětšování směrem dovnitř do dutiny ústní, a to o 0,8 mm ve střední části patra a až o 2,4 mm v alveolární oblasti v místě stoliček, čímž u chlapců dochází k výraznému relativnímu zúžení patra. U dívek pak můžeme zvětšování laterálních oblastí patra směrem do dutiny ústní, a tedy relativní zužování patra, sledovat především v alveolární oblasti v místě stoliček, kde se zvětší



směrem dovnitř do dutiny ústní přibližně o 1,2 mm. Ve zbylých okrajových oblastech se patro zvětšuje směrem ven z dutiny ústní, a tak se zde zvětšuje jeho šířka, a to také přibližně o 1,2 mm.

Pomocí analýzy konečných prvků (FESA) na Obr. 41 můžeme potvrdit, že patro skutečně roste tak, jak jsme popisovali výše dle barevných map. Pomocí analýzy FESA jsme transformovali průměrné patro skupin dívek i chlapců 7 let na průměrná patra skupin 19 let. U obou pohlaví je výrazná bílá a modrá barva v přední části a v mediální části patra, přičemž u chlapců je oblast těchto barev větší a zasahuje až k zadní části patra. To znamená, že zde v přední části patra dochází ke mírnému zkrácení patra a jeho zvedání směrem ven od dutiny ústní. V mediální části pak dochází ke snížení výšky patra a tím jeho výraznému oploštění. V zadní části patra u obou pohlaví pak převažuje žlutá a červená barva, které značí oblasti, kde se patro skupin 19 let oproti skupině 7 let výrazně zvětšilo. V celé zadní části dochází především ke zvyšování patra, prodlužování patra a v laterálních oblastech zadní části patra také k mírnému rozšiřování, a především růstu této oblasti směrem dovnitř do dutiny ústní. Oplošťování patra v mediální části a jeho zvyšování, a především prodlužování v jeho zadní části se jeví jako výraznější u chlapců než u dívek.



**Obr. 41** Barevná mapa vizualizující změny formy patra u dívek a chlapců mezi skupinami 7 a 19 let (vlevo), kde oblasti zbarvené teplými barvami rostou směrem dovnitř do ústní dutiny a oblasti zbarvené chladnými barvami rostou směrem ven od ústní dutiny. Zelené oblasti se nemění. Mapy signifikance (uprostřed) vizualizující nejvíce signifikantní oblasti. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách. Promítnutí průměrných pater obou skupin jedinců na sebe (vpravo) znázorňující rozdíl ve formě patra mezi průměrnými patry skupin 7 a 19letých dívek a chlapců, kde tmavě oranžová barva značí skupinu 7 let, tmavě zelená barva značí skupinu 19 let a světle zelená společně se světle oranžovou barvou značí oblasti, kde se patra obou skupin překrývají. Výsledek FESA analýzy při transformaci průměrného patra skupiny 7 let do průměrného patra skupiny 19 let ve formě barevné mapy (dole), kde žlutá barva a další teplé odstíny značí oblasti relativního zvětšení, světle fialová barva značí oblasti, kde nedochází k žádnému rozdílu a bílá barva a další chladné odstíny značí oblasti relativního zmenšení patra.

#### **6.4.2. Věkové změny tvaru patra u dívek a chlapců mezi skupinami 7 a 19letých jedinců**

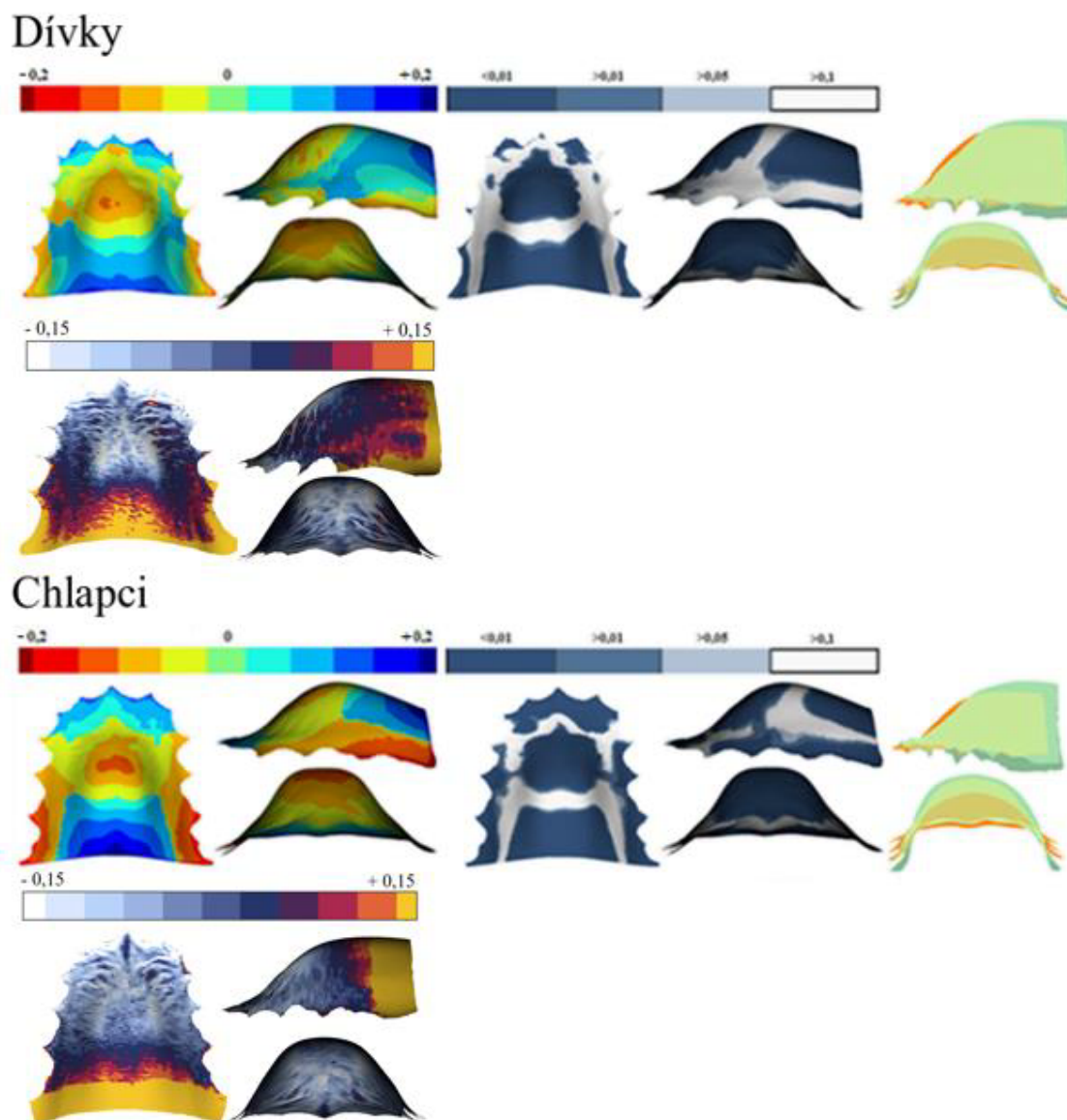
Na Obr. 42 jsou zobrazeny tvarové změny patra za celé sledované období u dívek i chlapců. Opět proto můžeme mezi pohlavími porovnat oblasti, kde dochází k signifikantním změnám, a podívat se, jak se tyto změny na patře tvarově projevují. Oblasti signifikantních změn, které se nachází v zadní části patra a také v mediální oblasti patra, se u dívek i chlapců téměř shodují. Avšak signifikantní oblasti nacházející se v přední části patra a laterálních částech patra jsou u chlapců výrazně větší. Dalo by se říci, že až na drobné rozdíly se signifikantní oblasti tvarových změn shodují s oblastmi, kde dochází k nejvýznamnějším změnám ve formě patra, které jsme popsali výše. V mediální oblasti patra, která u dívek vybíhá více anteriorně než shodná oblast u chlapců, mají patra obou pohlaví menší výšku, a jsou tak v této oblasti více oploštělá. Toto zmenšování výšky u starších jedinců je výsledně výraznější u chlapců.

Naopak v zadní a přední části patra se u pater dívek i chlapců během vývoje zvětšuje jeho výška. Oblast v zadní části patra, kde k těmto změnám dochází, je větší u dívek, u kterých vybíhá více laterálně, především pak ve střední části patra. Zatímco v přední části patra je situace opačná a oblast, kde se patro zvyšuje, je větší u chlapců a nachází se v celé přední části patra.

Posledními zde popsányi změnami jsou změny probíhající v laterálních částech patra. U dívek významné změny probíhají pouze v alveolární oblasti patra v místě stoliček. Mírnější změny pak také v laterálních oblastech střední části patra, kde jsou patra dívek na konci vývoje větší směrem dovnitř do dutiny ústní a tím jsou relativně užší. U chlapců významné změny v laterálních částech patra probíhají především v celé okrajové části patra, od třenových zubů až po poslední stoličky. V celé této části jsou patra chlapců stejně jako u dívek na konci vývoje větší směrem dovnitř do dutiny ústní, což má za následek relativní zúžení patra. Zároveň jsou tyto změny u chlapců mnohem výraznější než u dívek.

Stejně jako u formy patra jsme i zde u tvaru pomocí analýzy konečných prvků (FESA) na Obr. 42 potvrdili, jak a jakým směrem se tvar patra. I zde se u obou pohlaví nachází bílá a modrá barva v přední části a v mediální části patra, přičemž u chlapců je oblast těchto barev opět posunuta dále do zadní části patra. To znamená, že v této oblasti dochází ke zvedání patra směrem ven od dutiny ústní v přední části patra. V mediální části pak dochází k výraznému zmenšení výšky patra a jeho výraznému oploštění. V zadní části patra u obou pohlaví pak převažuje žlutá a červená barva, které značí oblasti, kde má patro

skupin 19 let oproti skupinám 7 let výrazně větší výšku a dochází také k jeho prodloužení a rozšíření. Patra starších skupin jsou také v laterálních oblastech výrazně delší směrem do dutiny ústní, čímž je patro výsledně relativně užší. Všechny výše popsané změny jsou výraznější u chlapců.



**Obr. 42** Barevná mapa vizualizující tvarové změny patra u dívek a chlapců mezi skupinami 7 a 19 let (vlevo), kde oblasti zbarvené teplými barvami rostou směrem dovnitř do ústní dutiny a oblasti zbarvené chladnými barvami rostou směrem ven od ústní dutiny. Zelené oblasti se nemění. Mapy signifikance (uprostřed) vizualizující nejvíce signifikantní oblasti. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách. Promítnutí průměrných pater obou skupin jedinců na sebe (vpravo) znázorňující rozdíl ve formě patra mezi průměrnými patry skupin 7 a 19letých dívek a chlapců, kde tmavě oranžová barva značí skupinu 7 let, tmavě zelená barva značí skupinu 19 let a světle zelená společně se světle oranžovou barvou značí oblasti, kde se patra obou skupin překrývají. Výsledek FESA analýzy při transformaci průměrného patra skupiny 7 let do průměrného patra skupiny 19 let ve formě barevné mapy (dole), kde žlutá barva a další teplé odstíny značí

oblasti relativního zvětšení, světle fialová barva značí oblasti, kde nedochází k žádnému rozdílu a bílá barva a další chladné odstíny značí oblasti relativního zmenšení patra.

## 6.5. Pohlavní dimorfismus patra

V této části práce jsme porovnávali vždy stejné věkové skupiny opačného pohlaví, aby bylo možné sledovat pohlavní dimorfismus v různých obdobích vývoje. Zhodnocení pohlavního dimorfismu ve formě patra proběhlo stejně jako hodnocení změn jeho vývoje pomocí superprojekčních metod v podobě barevných map a map signifikance. Nakonec jsme opět pomocí superprojekce neboli promítnutí pater 2 skupin jedinců na sebe znázornili rozdíly ve formě a tvaru patra mezi průměrnými patry stejně starých věkových skupin dívek a chlapců. Použité metody jsou stejné, jako byly popsány výše (viz 6.2 Rozdíly v morfologii patra odrážející vývoj patra u dívek). U superprojekce jsme však použili jiné barvy, kdy tmavě červená barva značí skupinu dívek, tmavě modrá barva značí skupinu chlapců a světle červená společně s fialovou barvou značí oblasti, kde se patra dívek a chlapců překrývají.

### 6.5.1. Pohlavní dimorfismus formy patra

Na Obr. 43 jsou zobrazeny rozdíly v pohlavním dimorfismu formy patra, které jsme sledovali u věkových skupin 7, 10, 12, 15 a 19 let. Dle map signifikance jsme zjistili, že nejvíce signifikantní rozdíly ve velikosti a tvaru patra, a tedy největší pohlavní dimorfismus, lze sledovat u skupin 15letých a 19letých jedinců.

Mezi skupinami 15letých dívek a chlapců (Obr. 43 D) jsou nejvíce signifikantní rozdíly lokalizovány v laterálních částech patra v celé jeho délce, od zadního okraje až po přední řezáky. V této oblasti jsou patra chlapců přibližně o 0,8 až 1,2 mm větší směrem ven od ústní dutiny než patra dívek, což znamená, že patra dívek jsou užší než patra chlapců. Další, ale již menší oblastí se signifikantními rozdíly, je oblast v mediální části patra, kde mají patra chlapců menší výšku než patra dívek, a to přibližně o 0,8 mm, a tak jsou tedy patra chlapců v této oblasti více oploštělá. Mírně nižší jsou patra chlapců také v oblasti, která se nachází v mediální ose patra posteriorně od předešlé oblasti. V této oblasti jsou patra chlapců nižší pouze přibližně o 0,4 mm. Chlapci v této věkové skupině mají tedy ve střední části nižší a v laterálních částech výrazně širší patra než stejně staré dívky.

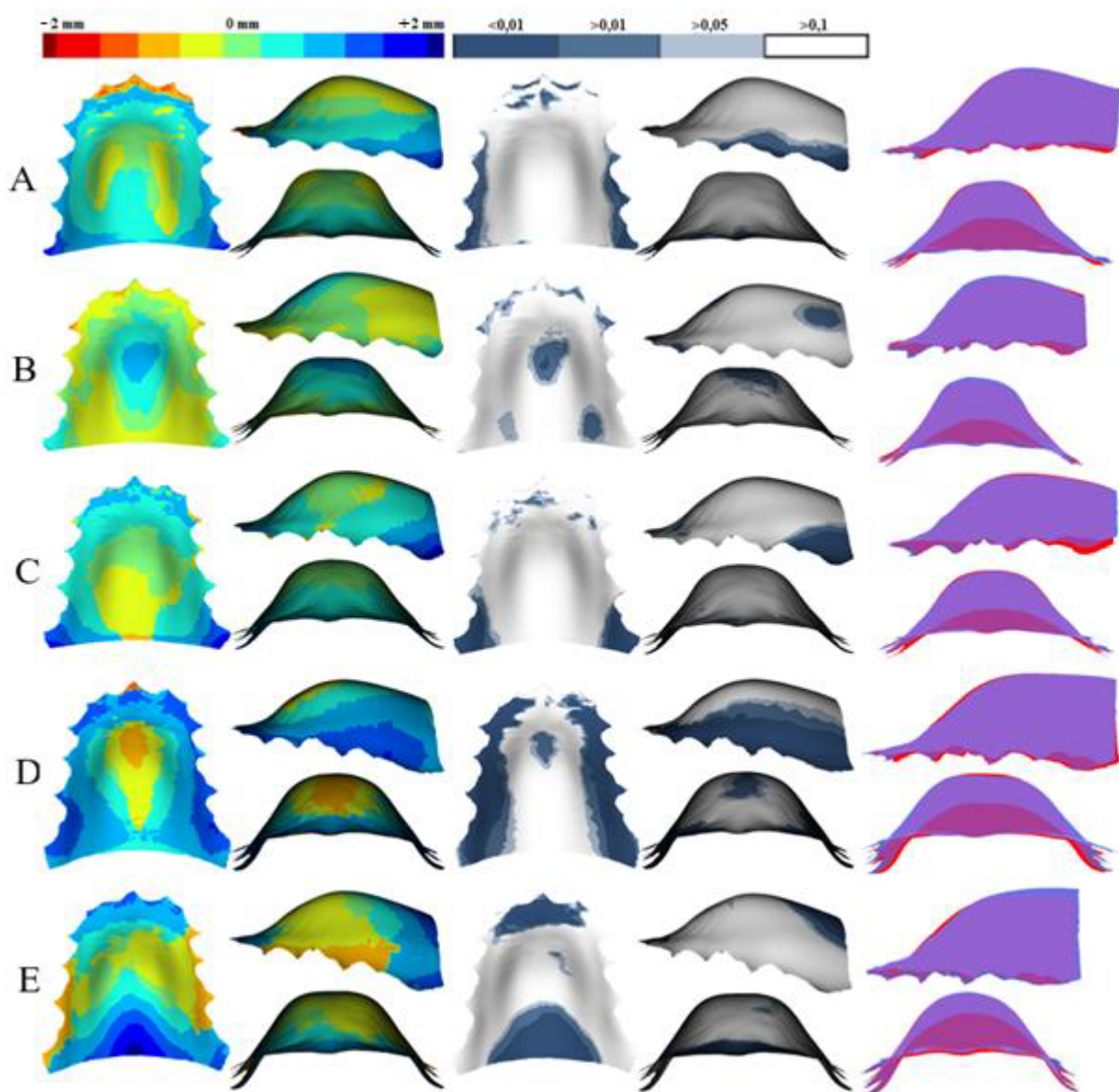
Při porovnání 19letých dívek a chlapců (Obr. 43 E) jsou nejvíce signifikantní rozdíly lokalizovány v přední a zadní části patra, přičemž v obou oblastech jsou patra chlapců vyšší než patra dívek. V přední části patra, kde jsou rozdíly menší, jsou chlapecká patra

vyšší přibližně o 0,8 mm a až o 1,2 mm v nejvíce anteriorních oblastech. V zadní části je pak rozdíl výšky patra výraznější a patra chlapců jsou zde v jejich nejvíce posteriorní části vyšší až o 1,6 až 2 mm a přibližně o 0,8 mm širší než patra dívek. Ve středové části patra jsou patra chlapců naopak mírně nižší a užší než patra dívek, avšak tyto rozdíly nejsou signifikantní.

Mezi skupinami 7letých dívek a chlapců (Obr. 43 A) dochází dle map signifikance k signifikantním změnám pouze v laterálních oblastech patra a dále v drobných oblastech v jeho nejvíce anteriorní části. V nejvíce anteriorní části patra jsou patra chlapců nižší než patra dívek, a to přibližně o 0,8 až 1,2 mm. Ve zbylých oblastech přední části patra a také v jeho laterálních oblastech jsou naopak patra chlapců až o 0,8 mm vyšší a širší oproti dívčím patrům. Další signifikantní rozdíly ve formě patra u této věkové skupiny nejsou patrné.

Při porovnání skupin 12letých dívek a chlapců (Obr. 43 C) lze signifikantní rozdíly sledovat pouze v alveolární oblasti patra v místě stoliček. Méně signifikantní rozdíly jsou pak také v přední části patra, kde jsou patra chlapců přibližně o 0,4 až 0,8 mm vyšší než patra dívek. V alveolární oblasti v místě stoliček jsou patra chlapců širší než patra dívek, a to o 0,8 až 1,6 mm. V dalších oblastech patra již u této věkové skupiny nejsou patrné žádné signifikantní rozdíly.

Mezi skupinami 10letých dívek a chlapců (Obr. 43 B) je pohlavní dimorfismus nejméně výrazný. Signifikantní rozdíly lze sledovat pouze v mediální části patra, kde jsou patra chlapců až o 0,8 mm vyšší, a tedy více klenutější než patra dívek, a dále v přední a zadní části patra, kde jsou patra chlapců naopak o 0,4 mm nižší a také mírně užší než u dívek.



**Obr. 43** Barevná mapa vizualizující pohlavní dimorfismus formy patra (vlevo). Barevně vyznačené změny značí rozdíl průměrného chlapeckého patra oproti průměrnému dívčímu patru. Oblasti zbarvené teplými barvami jsou menší u chlapců než u dívek a oblasti zbarvené chladnými barvami jsou větší u chlapců než u dívek. Zelené oblasti se nemění. Mapy significance (uprostřed) vizualizující nejvíce signifikantní oblasti. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách značících signifikantní změny chlapců oproti dívkám. Promítnutí průměrných pater 2 skupin jedinců na sebe (vpravo) znázorňující velikostní i tvarový rozdíl mezi průměrnými patry daných skupin, kde červená barva značí skupinu dívek, modrá barva značí skupinu chlapců a fialová barva společně se světle červenou barvou značí oblast, kde se patra obou skupin překrývají. **A)** skupiny 7 let, **B)** skupiny 10 let, **C)** skupiny 12 let, **D)** skupiny 15 let, **E)** skupiny 19 let.

### 6.5.2. Pohlavní dimorfismus tvaru patra

Obr. 44 zachycuje pohlavní dimorfismus ve tvaru patra, sledovaný u věkových skupin 7, 10, 12, 15 a 19 let. Hodnocení probíhalo stejně jako v předchozí kapitole, zde ovšem



nebyly brány v potaz velikostní rozdíly pater a zaměřovali jsme se pouze na rozdíly v jejich tvaru.

Dle map signifikance je patrné, že největší pohlavní dimorfismus lze sledovat u stejných skupin jako u pohlavního dimorfismu formy patra, a to u skupin 15 a 19 let. U skupin 7, 10 a 12 let je pak pohlavní dimorfismus méně patrný. Zajímavé také je, že pohlavní dimorfismus ve tvaru patra je výraznější než u jeho formy.

U 15letých dívek a chlapců (Obr. 44 D) jsou nejvíce signifikantní rozdíly lokalizovány v mediální části patra a také v laterálních částech patra od jeho zadního okraje až po přední řezáky. V mediální části jsou patra chlapců výrazně nižší a plošší oproti patrům dívek. V laterálních částech patra jsou pak patra chlapců širší než patra dívek. Ve výsledku jsou tedy patra chlapců u této věkové skupiny plošší, širší a nižší než patra dívek.

Při porovnání 19letých dívek a chlapců (Obr. 44 E) jsou pak nejvíce signifikantní rozdíly lokalizovány ve mediální části patra, v přední části patra a v zadní části patra v oblasti, která je přilehlá k zadnímu okraji patra. Zatímco ve mediální části patra jsou patra chlapců oproti dívčím užší, nižší a plošší, tak v jeho přední a zadní části jsou naopak patra chlapců oproti dívčím patrům vyšší a delší. Výsledně jsou tedy chlapecká patra plošší ve mediální části a vyšší v přední a zadní části a zároveň jsou chlapecká patra signifikantně delší.

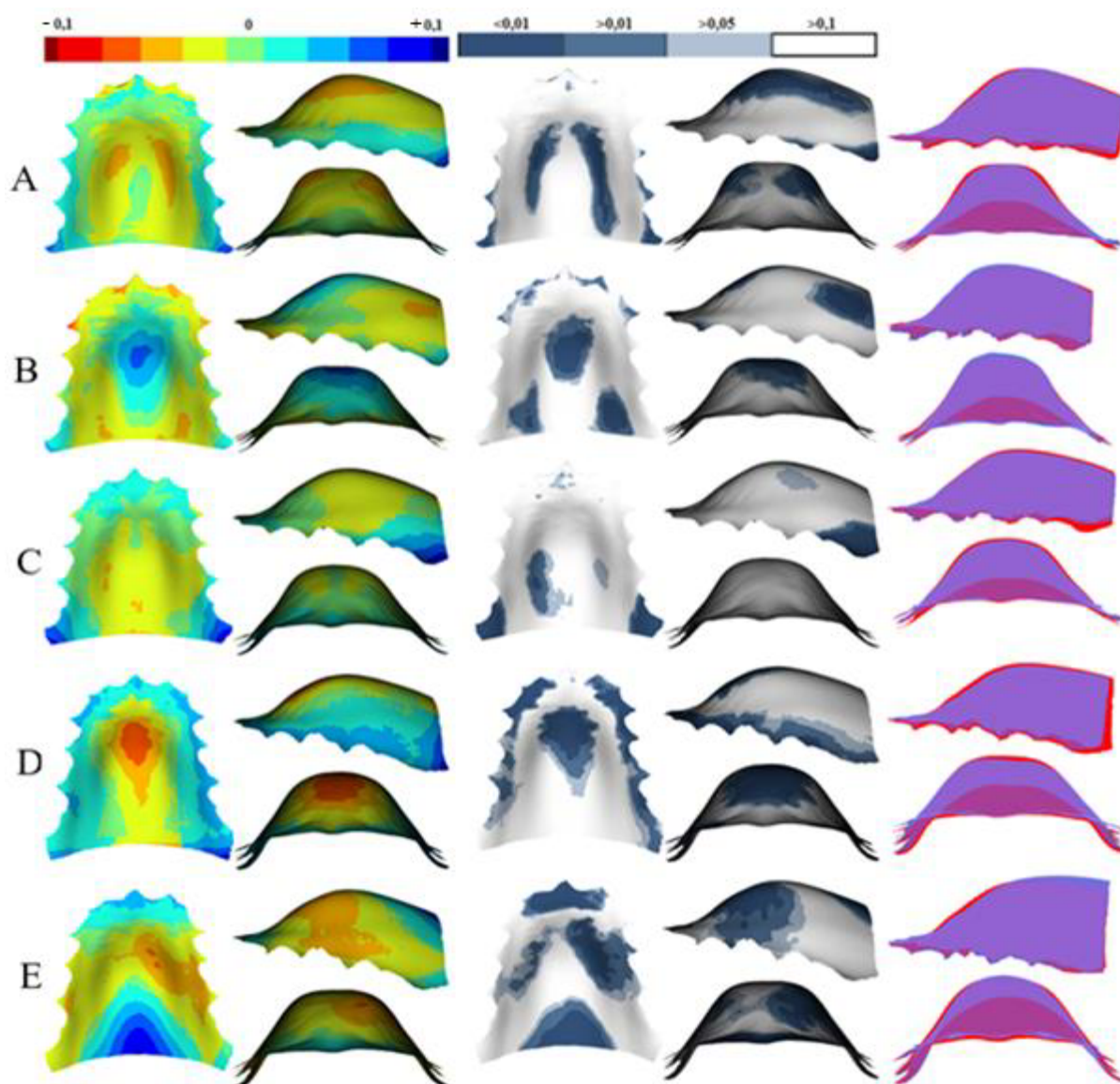
U skupiny 7letých dívek a chlapců (Obr. 44 A) jsou nejvíce signifikantní rozdíly patrné v párové oblasti nacházející se ve střední až zadní části patra, podél jeho předozadní osy. Další drobné signifikantní oblasti se pak nachází v okrajových částech patra v místě stoliček a třenových zubů. V místě, kde se nachází párová signifikantní oblast, jsou patra chlapců mírně nižší a plošší, zatímco v okrajových částech jsou oproti dívčím patrům naopak mírně širší. Patra chlapců jsou tedy výsledně mírně nižší a plošší, a to především v mediální oblasti, a také mírně širší než patra dívek.

Mezi skupinami 10letých dívek a chlapců (Obr. 44 B) můžeme sledovat signifikantní změny v mediální části patra, párových oblastech v zadní části patra a také v okrajových oblastech přední části patra. V signifikantních oblastech v přední a zadní části patra jsou patra chlapců mírně nižší než patra dívek. Naopak v mediální části jsou chlapecká patra vyšší a vyklenutější, než je tomu u dívek.

Příliš velké rozdíly nejsou patrné ani mezi posledními zde uvedenými skupinami 12letých dívek a chlapců (Obr. 44 C). Mezi nimi jsou signifikantní změny patrné pouze v alveolární



oblasti patra v místě stoliček, v oválné oblasti v zadní části patra a dále v menší míře v přední části patra. V alveolární oblasti v místě stoliček jsou patra chlapců širší než patra dívek. Zadní část patra je u chlapců mírně nižší oproti patrům dívek. V přední části patra jsou pak patra chlapců naopak mírně vyšší než u dívek.



**Obr. 44** Barevná mapa vizualizující pohlavní dimorfismus ve tvaru patra (vlevo). Barevně vyznačené změny značí rozdíl průměrného chlapeckého patra oproti průměrnému dívčímu patru. Oblasti zbarvené teplými barvami jsou menší u chlapců než u dívek a oblasti zbarvené chladnými barvami jsou větší u chlapců než u dívek. Zelené oblasti se nemění. Mapy signifikance (uprostřed) vizualizující nejvíce signifikantní oblasti. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách značících signifikantní změny chlapců oproti dívkám. Promítnutí průměrných pater obou skupin jedinců na sebe (vpravo) znázorňující velikostní i tvarový rozdíl mezi průměrnými patry daných skupin, kde červená barva značí skupinu dívek, modrá barva značí skupinu chlapců a fialová barva společně se světle červenou barvou značí oblast, kde se patra obou skupin překrývají. **A)** skupiny 7 let, **B)** skupiny 10 let, **C)** skupiny 12 let, **D)** skupiny 15 let, **E)** skupiny 19 let.

## 7. Diskuze

Diplomová práce pojednává o modelování vývoje povrchu patra u člověka od 7 let do dospělosti. Neodráží pouze morfologický vývoj patra během tohoto období u jednotlivých pohlaví, ale sleduje také pohlavní dimorfismus ve vývoji patra u různých věkových skupin jedinců. Cílem této práce je zhodnotit pomocí metod geometrické morfometrie vývoj pater, která jsou bez jakýchkoliv malformací či onemocnění ovlivňujících morfologii patra, u jedinců české populace. Díky použití metod geometrické morfometrie, můžeme morfologické změny patra v průběhu jeho vývoje popsat detailněji, než kdybychom použili metody klasické morfometrie. Vizualizací výsledků za využití superprojekčních barevných map, map signifikancí a superprojekce neboli promítnutí průměrných pater 2 skupin jedinců na sebe je tak možné u pater popsat nejen to, zda se patro zvětšuje a jak se mění jeho tvar, ale také umožňuje sledovat směr a intenzitu růstu v různých oblastech patra (Zelditch, 2004). Výsledky práce budou moci sloužit jako srovnávací norma nejen pro další studie zabývající se vývojem patra u pacientů s rozštěpovými vadami (Liao et al., 2006), ale také pro vhodné plánování ortodontických zákroků (Sadowsky, 1998). Navíc tím, že je studie provedena na patrech získaných od jedinců z české populace, mohla by dále sloužit jako srovnávací norma pro defekty pater a lepší časové plánování případných chirurgických zákroků spojených s defekty patra a plánování dalších ortodontických zákroků právě u české populace, čímž by byl odstraněn případný problém s populační specifičností vývoje patra.

V naší práci jsme využili transverzální data, která nám sice umožňují hodnocení změn v morfologii patra a rozdílů mezi skupinami (Chung How Kau & Richmond, 2008), avšak neposkytují nám informace o reálném růstu. Takové informace nám mohou poskytnout pouze data longitudinální (Kolar & Salter, 1997; Koudelová et al., 2015). Informace získané z transverzálních dat se tedy dají omezit pouze na odhad biologického procesu. Proto zde nesledujeme reálný růst, ale pouze růst modelovaný. Oproti longitudinálním datům se u transverzálních dat zvyšuje pravděpodobnost chyb, kterými může být třeba výskyt nečekaných extrémních rozdílů v morfologii mezi danými věkovými skupinami (Kolar & Salter, 1997).

V práci Moštkové (2018), která zkoumala obličej, byla u transverzálních dat vyzdvihnuta vhodnost širších časových intervalů oproti intervalům ročním. Porovnáním transverzálních dat různých intervalů s longitudinálními daty zjistila, že transverzální data širších intervalů

ukazují plynulejší rozdíly v morfologii a více tak odpovídají skutečnému růstu. To znamená, že naše studie, která má k dispozici pouze transversální data se širšími časovými intervaly, dokáže i přesto velmi dobře simulovat reálný růst patra a je možné dobře sledovat rozdíly v morfologii patra mezi různými skupinami jedinců.

### 7.1. Variabilita forma a tvaru patra

Publikace, které by popisovaly variabilitu patra u normální populace prozatím nejsou. A právě v tom by mohl být přínos této práce, která tak může sloužit jako norma pro další studie, které se zabývají vývojem patra u pacientů s kraniofaciálními malformacemi. Navíc díky tomu, že se jedná o materiál sestávající z české populace, může být normou především pro práce zkoumající variabilitu tvaru a velikosti patra u rozštěpových vad u české populace, kterými jsou například studie Bejdové et al. (Bejdová et al., 2012) a Ruskové et al. (Rusková et al., 2014)

V našem souboru jedinců u dívek s přibývajícím věkem vzrůstá variabilita formy patra od skupiny 7 let. U skupin 10 a 12 let je variabilita největší a dále již opět klesá. Nejmenší variabilita je pak u skupiny dívek 15 let a směrem ke skupině 19 let opět narůstá. U chlapců pak lze sledovat zvětšování variability od nejmladší skupiny 7 let po skupinu 10 let kdy je variabilita největší. Ve 12 letech je opět menší a dále se zvětšuje až po nejstarší skupinu 19 let. U dívek je také mezi skupinami 10 a 12 let, oproti srovnání mezi stejným skupinami chlapců, patrný pouze malý posun v hodnotách hlavních komponent, což značí, že se patra během tohoto období výrazně neměnila a růst patra se zpomalil. Toto zpomalení vývoje se shoduje například se zpomalením růstu obličeje u dívek zjištěného ve studii Ferrariho (1998) viz dále. Na zvětšování variability u ostatních skupin jedinců může mít také vliv růst zubů, které se u jedinců prořezávají v širším časovém intervalu (Graber, 2005), a také růstový spurt nastupující u každého jedince individuálně (Šmahel, 2001). Na variabilitu může mít vliv také větší věkový rozestup mezi jedinci spadající do stejné věkové skupiny. A v neposlední řadě musíme do hodnocení variability zahrnout také skutečnost, že se jedná o transversální data, čímž může být variabilita ovlivněna.

U tvaru patra můžeme největší variabilitu sledovat u obou pohlaví u skupin 19 let a pak také 15 let. V nižším věku je variabilita výrazně menší, přičemž u dívek je výrazně nejmenší u skupiny 7 let u chlapců u skupiny 10 let. Největší variabilita tvaru patra u dívek může být v tomto období dána například růstem zubů, které v tomto období probíhá

(Graber, 2005). U chlapců by zase naopak nízká variabilita u skupiny 10 let mohla být dána tím, že je velmi malý věkový rozptyl jedinců uvnitř skupiny.

## 7.2. Rozdíl mezi věkovými skupinami jednotlivých pohlaví

Prvním z našich předpokladů byla dřívější zástava růstu patra u dívek oproti chlapcům. Potvrzení tohoto předpokladu vyplývá ze sledování rozdílu mezi skupinami 15 a 19 let. Zatímco u chlapců jsou mezi těmito skupinami stále patrné významné signifikantní změny, tak u dívek zde po 15. roce již nejsou patrné téměř žádné signifikantní změny. V tom se naše práce shoduje jak se studií Jelínka et al. (1983), kde uvádí, že po 15. roce již horní čelist dívek prakticky neroste, tak také se skutečností, že dívky ukončují svůj růst průměrně v 15 letech, zatímco chlapci růst ukončují až okolo 17. roku (Šmahel, 2001). Potvrzuje to také studie Melsena (1975), který dle aktivity osteoblastů v oblasti švů patra určil, že růst patra se u dívek ukončuje ve věku 15 let, zatímco u chlapců až ve věku 17 let. Dokonce i růstová rychlost obličeje je v 15 letech u dívek téměř nulová (Ferrario et al., 1998; Moštková, 2018).

Dalším předpokladem, který vycházel ze studií Jelínka et al. (1983), bylo, že vývoj patra bude probíhat téměř lineárně od nejmladší skupiny jedinců po nejstarší. Předpokládali jsme, že u dívek bude tento vývoj probíhat až po skupinu 15 let, zatímco u chlapců až po skupinu 19 let, a to z důvodu dřívějšího ukončení růstu horní čelisti u dívek (viz výše). V naší studii byl tento předpoklad potvrzen u chlapců, kde vývoj patra spojený se změnou jeho rozměrů skutečně probíhal od nejmladší skupiny 7 let až po nejstarší skupinu 19 let, přičemž k největším změnám docházelo mezi skupinami 12 a 15 let. Avšak u dívek vývoj neprobíhal lineárně. U dívek k největším změnám docházelo mezi skupinami 7 a 10 let a pak až mezi skupinami 12 a 15 let, kdy byly změny nejvýraznější za celé sledované období. Naopak mezi skupinami 10 a 12 let došlo ke zpomalení vývoje. A po 15. roce již u dívek dle předpokladu nedocházelo k žádným významným změnám. To znamená, že největší změny jsou u obou pohlaví zaznamenány mezi věkovými skupinami 12 a 15 let, což odpovídá období, kdy dívky ve 12 letech a chlapci ve 14 letech dosahují zároveň největší růstové rychlosti v rámci pubertálního spurtu (Šmahel, 2001).

Zde je však zajímavé právě ono zpomalení vývoje patra u dívek mezi skupinami 10 a 12 let, během kterého nebyly patrné téměř žádné signifikantní změny ve formě ani tvaru patra. Toto výrazné zpomalení ve vývoji patra u dívek by odpovídalo zjištění ve výzkumu růstu obličeje Ferrarioho et al. (1998), že se vývoj obličeje v 11 letech u dívek zpomaluje.

Zároveň také tomu, že po rychlém vývoji horní čelisti ve věku 5 až 11 let, který je spojen s prořezáváním trvalé dentice, nastává ustálení a zpomalení růstu horní čelisti (Langford et al., 2003). Avšak je v rozporu například se studií Koudelové et al. (2019) sledující vývoj obličeje v rámci české populace, která zjistila, že obličej v tomto období urychluje svůj růst, a dle které byly nejvýraznější růstové změny obličeje u dívek sledovány právě v období 11 až 12 let.

Na zpomalení růstu nejspíše nebude mít žádný vliv ani prořezávání trvalých zubů, konkrétně špičáků a třenových zubů, protože u chlapců k jejich růstu dochází mezi stejnými věkovými skupinami jako u dívek, pouze s menším zpožděním (Graber, 2005). Zpomalení vývoje patra by se tak projevilo i u chlapců, což se u nás nepotvrdilo. Bylo by proto potřeba udělat další a podrobnější studii s menšími časovými intervaly mezi skupinami, aby bylo možné lépe sledovat, jak a ve kterém věku se rychlost vývoje mění.

Dalším z našich předpokladů bylo, že růst patra do šířky, čímž je myšleno zvětšování šířky patra, bude patrný do skupiny 12 let a u starších skupin se již v těchto rozměrech zvětšovat nebude. Tento předpoklad vychází ze studií Bishary et al. (1997) a Peterky a Pěnkavy (1975), kteří se shodují v tom, že patro ukončuje svůj růst do šířky ve 13 letech života a dále buďto nedochází k žádným přírůstkům v šířce patra nebo dochází pouze k velmi malým změnám. Bishara et al. (1997) dokonce udává, že po kompletním prořezání trvalých zubů se šířka patra mírně zmenšuje, přičemž mezi špičáky je zmenšování rozměrů výraznější než mezi stoličkami. Podle Sillmana (1964) růst patra do šířky není signifikantní již od 12 let. Tento předpoklad se nám potvrdil. Přestože u dívek lze sledovat nejvíce signifikantní změny v laterálních oblastech mezi skupinami 12 a 15 let, tak zde patro roste směrem dovnitř do dutiny ústní, čímž dochází především k narůstání výšky patra, kdy patro roste směrem dovnitř do dutiny ústní, a to především v zadní části patra, zatímco v přední části se patro téměř nemění. U chlapců jsou pak nejvíce signifikantní změny v laterálních oblastech pozorovatelné mezi skupinami 15 a 19 let. Dochází zde k růstu patra v oblasti alveolárního výběžku směrem dovnitř do dutiny ústní, což je u chlapců patrné po celé délce patra. Růst patra v laterálních oblastech tedy způsobuje zvyšování patra, přičemž šířka se u chlapců ani u dívek významně nemění. Patro se tak stává relativně užší, ale absolutní šířka se nezmenšuje.

Zvlášť jsme provedli také porovnání změn v morfologii patra za celé sledované období, což znamená od 7 do 19 let. U dívek i chlapců jak mapy signifikance, tak superprojekční barevné mapy potvrdili, že nejvíce signifikantní změny neboli místa nejintenzivnějšího

růstu jsou znatelné v mediální oblasti anteriorní poloviny patra, kde se zmenšuje výška patra a patra se tak v této oblasti výrazně oplošťují. Signifikantní změny jsou také v zadní části patra, kde dochází naopak ke zvětšení výšky a délky patra a dochází také k jeho mírnému rozšiřování. Dále jsou pak signifikantní změny znatelné také v laterálních oblastech, především pak zadní části patra, ve kterých patro roste směrem dovnitř do dutiny ústní, což má za následek další zvyšování patra a dochází také k relativnímu zužování patra. Dle barevných map jsou změny v mediální, a především zadní části patra a laterálních oblastech patra, které způsobují změny ve výšce patra velmi výrazné. To odpovídá výše zmiňovanému faktu, že výškové rozměry obličeje rostou nejdéle a nejvíce oproti jeho šířkovým a hloubkovým rozměrům (Ferrario et al., 2003; Šmahel, 2001; Tošovská, 2016). Tyto změny patra při modelování růstu za celé sledované období potvrdili také výsledky metody FESA, u které také byly znatelné největší změny v zadní části patra a také laterální oblasti zadní části patra, kde se konečné prvky výrazně zvětšili, což poukazuje na zvětšení patra v tomto místě. A naopak v mediální a přední části patra je znatelné zmenšení konečných prvků, což poukazuje na zmenšení patra v těchto místech, což koresponduje především s oploštěním patra v mediální části patra.

Při modelování růstu za celé sledované období je také patrné, že změny objevující se v přední, mediální, a především zadní části patra, kde dochází ke změnám výšky patra, jsou výraznější než změny odehrávající se v laterálních oblastech patra, kde dochází ke zvětšování této oblasti směrem dovnitř do dutiny ústní, čímž dochází k dalšímu zvyšování patra. V tom by se naše výsledky shodovaly s faktem, že výškové rozměry obličeje (výška obličeje je definována body *nasion* – *gnathion* (Stloukal & Dobisíková, 1999) rostou postnatálně více a ukončují růst později než šířkové rozměry (šířka obličeje je definována body *zygion* – *zygion* (Stloukal & Dobisíková, 1999) (Šmahel, 2001). V našich výsledcích je zvyšování patra, především v zadní části a laterálních oblastech, znatelné až do skupiny 15 let u dívek a 19 let u chlapců. Patra se tak s narůstajícím věkem stávají relativně užšími oproti patrům mladších jedinců.

Díky studii Peterky a Pěnkavy (1975), ve které u transverzálních dat tvořených dívkami a chlapci ve věku od 3 do 19 let z české populace, měřili šířkové rozměry mezi špičáky a 2. dočasnými stoličkami (2. třenovými zuby u trvalé dentice) můžeme také porovnat jimi naměřené přírůstky v šířkových rozměrech za dané období s našimi výsledky. Při tomto srovnání vidíme, že se naše výsledky shodují právě s výsledky, které naměřili ve své studii Peterka a Pěnkava (1975), jelikož v období kdy jimi byly naměřeny větší změny

v šířkových rozměrech se shodují s obdobím, kde v našich výsledcích dochází k intenzivním změnám v daných laterálních oblastech. A naopak v období, kdy dochází k menším přírůstkům v šířce zubního oblouku či lehkému snížení těchto rozměrů, tak v našich výsledcích dochází pouze k mírným či žádným změnám v daných laterálních oblastech.

Podobně můžeme porovnat také naměřené rozměry délky patra ve studii Peterky (1984), měřené od středu *papila incisiva* k tečně obou *tubera maxillae*, které byly opět měřeny u transverzálních dat tvořenými ovšem pouze chlapci ve věku 3 až 19 let. V této studii bylo zjištěno, že k nejmenšímu nárůstu v délce patra dochází u chlapců mezi skupinami 7 a 10 let, kdy se patro prodlouží o 2,2 mm a v dalších obdobích jsou přírůstky větší a největší jsou pak mezi skupinami 15 a 19 let, kdy se patro prodlouží o 3,8 mm. To se shoduje také s našimi výsledky, ve kterých jsou nejmenší změny v zadní části patra, naznačující růst patra do délky, patrné mezi nejmladšími skupinami chlapců 7 a 10 let, zatímco mezi dalšími skupinami jsou patrné intenzivní změny v zadní části patra až do věkové skupiny 19 let.

Oproti studiím Peterky (1984) a Peterky a Pěnkavy (1975), které sledují pouze lineární rozměry pomocí metod klasické morfometrie, jsme pak v této práci mohli za pomoci využití metod geometrické morfometrie sledovat nejen změny patra v daných oblastech, ale také směr a intenzitu těchto změn. Dále jsme také mohli sledovat změnu tvaru patra, kdy se patro se zvyšujícím se věkem jedinců snižuje a tím oplošťuje v jeho mediální části anteriorní poloviny patra a zároveň se naopak zvyšuje a prodlužuje v jeho zadní části.

### 7.3. Pohlavní dimorfismus patra

Prvním z našich předpokladů ohledně pohlavního dimorfismu patra bylo, že pohlavní dimorfismus začne být signifikantní u jedinců věkové skupiny 12 let a ve vyšším věku se bude zvyrazňovat. Tento předpoklad vycházel ze studie Jelínka et al. (1983), kde se růst patra dívek ve 12 letech zpomaloval a od 15 let již patra téměř nerostla. Zatímco u chlapců růst pokračoval téměř lineárně až do 19 let, což má nejspíše největší vliv na výsledný rozdíl ve velikosti patra mezi pohlavími. Tento předpoklad se plně nepotvrdil, neboť v naší studii se výraznější rozdíly mezi dívkami a chlapci začínají objevovat v období 15 let. U takto starých jedinců lze pohlavní dimorfismus sledovat v celých laterálních oblastech patra, kde byla patra chlapců oproti dívčím patrům výrazně širší, a také v menší mediální oblasti anteriorní poloviny patra, kde naopak patra chlapců měla menší výšku oproti

dívčím patřům, a byla tak v této oblasti méně vyklenutá. Avšak to, že se nejvíce signifikantní pohlavní dimorfismus v našich výsledcích objevuje až u skupin jedinců 15 let, nemusí znamenat rozpor právě s výsledky Jelínka et al. (1983). Ten uvádí, že patro dívek okolo 12. roku věku zpomaluje svůj růst až do 15. roku, kdy již téměř neroste, zatímco u chlapců patro roste téměř lineárně až do 19 let a nedochází u něj ke zpomalení růstu jako u dívek (Jelínek et al., 1983). Tento nástup signifikantního pohlavního dimorfismu u skupiny 15 let může být zapříčiněn také většími intervaly mezi věkovými skupinami. To znamená, že u skupin 12 let by se zpomalení růstu pater dívek stále neprojevilo v dostatečné míře, abychom mohli sledovat signifikantní pohlavní dimorfismus, a projevilo by se až u další věkové skupiny, kterou je v našem případě až právě skupina 15 let.

Signifikantní pohlavní dimorfismus můžeme dále sledovat také mezi 19letými dívkami a chlapci. U této věkové skupiny jsou pohlavní rozdíly lokalizovány v přední a zadní části patra, přičemž patro se v těchto oblastech zvětšují směrem ven od dutiny ústní, čímž se zvětšuje jejich výška. To je nejspíše silně ovlivněné gonadálními změnami během puberty, jelikož u dívek se puberta zakončuje v 15 letech, zatímco u chlapců až v 17 letech (Šmahel, 2001). Fakt, že je pohlavní dimorfismus v dospělosti právě výsledkem prodloužené doby růstu neboli opožděného růstového spurtu u chlapců, uvádí také Ursi (1993). Nakonec naše výsledky podporuje také výzkum Melsena (1975), který uvádí, že dle inaktivních osteoblastů v oblasti švů se růst patra u dívek zastavuje již v 15 letech a u chlapců až v 17 letech. Avšak dle Björka a Skiellera (1974) se jedná o ukončení růstu v oblasti švů, přičemž růst patra remodelací může v dalších místech patra stále pokračovat.

Výrazným rozdílem mezi dívkami a chlapci, který se objevuje u skupiny 15letých a zvýrazňuje se u skupiny 19letých dívek a chlapců, je výška a délka patra. U skupiny 19letých chlapců je výška patra větší oproti výšce patra stejně starých dívek, a to především v oblasti *sutura palatina transversa*. A zároveň mají chlapci delší patro v jeho zadní části. Toto naše zjištění se shoduje se studií Bigoni et al. (2010), která zkoumala lebky dospělé (20 – 96 let) české populace z první poloviny 20. století a zjistila, že u mužských pater dochází oproti ženským patřům k prohloubení neboli zvýšení patra právě v oblasti *sutura palatina transversa*, a také k prodloužení zadní části tvrdého patra.



## 8. Závěry

V předkládané diplomové práci jsme zkoumali rozdíly v modelovaném vývoji patra u dívek a chlapců v rámci pěti věkových skupin ve věkovém rozmezí 7 až 19 let, a také pohlavního dimorfismu ve vývoji patra. V naší práci byla použita patra bez malformací či onemocnění, která by ovlivňovala jeho vývoj. Soubor pater pocházel z české populace, přičemž data byla sbírána transversálně. Pomocí metod geometrické morfometrie jsme sledovali vývojové rozdíly nejen v rámci růstových změn mezi věkovými skupinami jednoho pohlaví, ale také pohlavní dimorfismus. Dále jsme naše výsledky porovnali se studiemi Peterky a Pěnkavy (1975) a Peterky (1984), kteří využívali stejná transversální data a zjistili jsme, že se oblasti i období, kdy v našich výsledcích sledujeme intenzivní změny patra, shodují s věkovými rozdíly průměrných hodnot rozměrů horního zubního oblouku naměřených v jejich studiích. Oproti těmto studiím jsme však mohli za pomoci metod geometrické morfometrie sledovat věkové změny variability i průměrné formy/tvaru celého povrchu patra. Metodologie nám umožňuje sledovat směr a intenzitu růstových/tvarových změn, přímo jej lokalizovat a podobně.

Na základě provedených analýz jsou v souladu s výsledky vyneseny tyto závěry:

- Největší variabilitu ve formě patra jsme našli u dívek skupin 10 a 12 let a u chlapců skupiny 10 let. Nejmenší variabilita je naopak patrná u skupiny dívek 15 let a chlapců 7 let.
- Největší variabilitu ve tvaru patra jsme našli u obou pohlaví u skupin 19 let a pak také 15 let. Nejmenší variabilita je naopak patrná u skupiny dívek 7 let a chlapců skupiny 10 let.
- Morfologické věkové změny patra byly sledovány jak na základě jeho formy, tak po normalizaci velikosti. Věkové změny formy a tvaru patra jsou velmi podobné, a to nejen při sledování výsledků v podobě map superprojekce, ale shodují se i výsledky analýzy FESA a jim odpovídající mapy signifikance.
- Bez ohledu na věk a pohlaví lze obecně říci, že se patra s rostoucím věkem v posteriorní oblasti prodlužují, a tak relativně zužují. V nižším věku jsou klenutější v přední části, toto klenutí se s věkem v přední části vyrovnává a v zadní části se výška patra naopak zvětšuje a patro se prodlužuje.

- Metoda FESA ukazuje celkový růst patra během celého sledovaného období především v posteriorní části patra, což pravděpodobně souvisí s růstem v oblasti švu *sutura palatina transversa* a vývojem druhého a třetího moláru stálé dentice.
- Výše uvedené věkové rozdíly formy/tvaru patra dívek lze pozorovat především ve věkovém intervalu 7-10 a 12-15 let, po 15. roce se morfologie patra už výrazněji nemění.
- U chlapců byly zaznamenány kontinuální změny během celého sledovaného období, na rozdíl od dívek se u nich růstové/tvarové změny ve věku 15 let nezastavují a pokračují nejméně do 19 let.
- Patro se u dívek ve věkovém intervalu 12 až 15 let a u chlapců ve věkovém intervalu až 19 v laterálních oblastech viditelně nerozšiřuje a dochází zde především k růstu patra směrem dovnitř do dutiny ústní, čímž se patro zvyšuje a tím dále vyklenuje.
- Pohlavní dimorfismus patra byl nalezen ve všech námi sledovaných věkových kategoriích jedinců, avšak nejvýrazněji se projevuje v 15 letech, kde jsou patra chlapců nižší v mediální oblasti patra a širší v jeho laterálních oblastech.
- U skupiny 19 let je stále výrazný pohlavní dimorfismus, ale již méně než v 15 letech a patra chlapců jsou zde vyšší v přední a zadní části a také delší v zadní části než patra dívek.

## 9. Seznam použité literatury

- Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(4), 433–459.
- Adams, D. C., Rohlf, F. J., & Slice, D. E. (2004). Geometric morphometrics: ten years of progress following the ‘revolution.’ *Italian Journal of Zoology*, 71(1), 5–16.
- Atkinson, M. E. (2013). *Anatomy for Dental Students*. Oxford: Oxford University Press.
- Bejdová, Š., Krajiček, V., Peterka, M., Trefný, P., & Velemínská, J. (2012). Variability in palatal shape and size in patients with bilateral complete cleft lip and palate assessed using dense surface model construction and 3D geometric morphometrics. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 40(3), 201–208.
- Berkowitz, S. (2006). *Cleft Lip and Palate: Diagnosis and Management*. *Cleft Lip and Palate: Diagnosis and Management* (2. vydání). Berlin: Springer Science & Business Media.
- Besl, P. J., & McKay, N. D. (1992). Method for registration of 3-D shapes. In *Sensor fusion IV: control paradigms and data structures* (Vol. 1611, pp. 586–606). International Society for Optics and Photonics.
- Bharath, S. T., Kumar, G. R., Dhanapal, R., & Saraswathi, T. (2011). Sex determination by discriminant function analysis of palatal rugae from a population of coastal Andhra. *Journal of Forensic Dental Sciences*, 3(2), 58–62.
- Biggerstaff, R. H. (1969). Classification and frequency of cleft lip and/or palate. *The Cleft Palate Journal*, 6(1), 40–44.
- Bigoni, L., Velemínská, J., & Brůžek, J. (2010). Three-dimensional geometric morphometric analysis of cranio-facial sexual dimorphism in a Central European sample of known sex. *HOMO- J Comp Hum Biol* 61(1), 16–32.
- Bishara, S. E., Jakobsen, J. R., Treder, J., & Nowak, A. (1998). Arch length changes from 6 weeks to 45 years. *The Angle Orthodontist*, 68(1), 69–74.
- Bishara, S. E., Ortho, D., Jakobsen, J. R., Treder, J., & Nowak, A. (1997). Arch width

- changes from 6 weeks to 45 years of age. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 111(4), 401–409.
- Björk, A., & Skieller, V. (1974). Growth in Width of the Maxilla Studied by the Implant Method. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery*, 8(1–2), 26–33.
- Björk, A., & Skieller, V. (1977). Growth of the Maxilla in Three Dimensions as Revealed Radiographically by the Implant Method. *British Journal of Orthodontics*, 4(2), 53–64.
- Blakeway, H. (1914). Investigations in the Anatomy of the Palate. *Journal of Anatomy and Physiology*, 48(Pt 4), 409–416.
- Burdi, A. R., & Faist, K. (1967). Morphogenesis of the palate in normal human embryos with special emphasis on the mechanisms involved. *American Journal of Anatomy*, 120(1), 149–159.
- Burdi, A. R., & Silvey, R. G. (1969a). Sexual Differences in Closure of the Human Palatal Shelves. *The Cleft Palate Journal*, 6(1), 1–7.
- Burdi, A. R., & Silvey, R. G. (1969b). The relation of sex-associated facial profile reversal and stages of human palatal closure. *Teratology*, 2(4), 297–303.
- Bush, J. O., & Jiang, R. (2012). Palatogenesis: morphogenetic and molecular mechanisms of secondary palate development. *Development*, 139(2), 231–243.
- Cheverud, J., Lewis, J. L., Bachrach, W., & Lew, W. D. (1983). The measurement of form and variation in form: An application of three-dimensional quantitative morphology by finite-element methods. *American Journal of Physical Anthropology*, 62(2), 151–165.
- Chovalopoulou, M.-E., Valakos, E. D., & Manolis, S. K. (2013). Sex determination by three-dimensional geometric morphometrics of the palate and cranial base. *Anthropologischer Anzeiger*, 70(4), 407–425.
- Čihák, R. (2001). *Anatomie 1* (2. vydání). Praha: Grada Publishing.
- Čihák, R. (2002). *Anatomie 2* (2. vydání). Praha: Grada Publishing.

- Claes, P., Liberton, D. K., Daniels, K., Rosana, K. M., Quillen, E. E., Pearson, L. N., ... Yao, W. (2014). Modeling 3D facial shape from DNA. *PLoS Genetics*, 10(3).
- Cramon-Taubadel, N., Frazier, B. C., & Lahr, M. M. (2007). The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: Theory, methods, and modifications. *American Journal of Physical Anthropology*, 134(1), 24–35.
- Dadáková, M., Cagánová, V., Dupej, J., Hoffmannová, E., Borský, J., & Velemínská, J. (2016). Three-dimensional evaluation of facial morphology in pre-school cleft patients following neonatal cheiloplasty. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 44(9), 1109–1116.
- Dupej, J., Krajíček, V., & Pelikán, J. (2015). Low-rank matrix approximations for coherent point drift. *Pattern Recognition Letters*, 52, 53–58.
- Dupej, J., Krajíček, V., Velemínská, J., & Pelikán, J. (2014). Statistical Mesh Shape Analysis with Nonlandmark Nonrigid Registration. *J WSCG*. 20, 2–3
- Dylevský, I. (2009). *Funkční anatomie* (1. vydání). Praha: Grada Publishing.
- Feneis, H. (1996). *Anatomický obrazový slovník*. Praha: Grada Publishing.
- Ferguson, M. W. J. (1988). Palate development. *Development*, 103(Supplement), 41-60.
- Ferrario, V. F., Sforza, C., Poggio, C. E., & Schmitz, J. H. (1998). Facial volume changes during normal human growth and development. *The Anatomical Record: An Official Publication of the American Association of Anatomists*, 250(4), 480–487.
- Ferrario, V. F., Sforza, C., Serrao, G., Ciusa, V., & Dellavia, C. (2003). Growth and aging of facial soft tissues: a computerized three-dimensional mesh diagram analysis. *Clinical Anatomy: The Official Journal of the American Association of Clinical Anatomists and the British Association of Clinical Anatomists*, 16(5), 420–433.
- Fiala, Mud. M., Košková, Mud. O., Vokurková, Mud. J., & Bartošková, Mud. J. (2017). Rozštěpy rtu a patra—principy primární i následné péče. *Pediatric pro Praxi*, 297–299.
- Fraser, F. C. (1970). The genetics of cleft lip and cleft palate. *American Journal of Human Genetics*, 22(3), 336–352.

- Fulton, J. T. (1957). Closure of the Human Palate in Embryo. *American Journal of Obstetrics & Gynecology*, 74(1), 179–182.
- Gondivkar, S. M., Patel, S., Gadgil, A. R., Gaikwad, R. N., Chole, R., & Parikh, R. V. (2011). Morphological study of the palatal rugae in western Indian population. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 18(7), 310–312.
- Gosain, A. K., Conley, S. F., Marks, S., & Larson, D. L. (1996). Submucous cleft palate: diagnostic methods and outcomes of surgical treatment. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 97(7), 1497–1509.
- Graber, T. M. (2005). Functional appliances. *Graber TM, Vanarsdall RL, Katherine WL. Orthodontics Current Principles and Techniques. St Louis: Elsevier.*
- Gray, H., & Lewis, W. H. (1918). *Anatomy of the Human Body*. Philadelphia: Lea & Febiger.
- Gritli-Linde, A. (2007). Molecular control of secondary palate development. *Developmental Biology*, 301(2), 309–326.
- Haruštiaková, D., Jarkovský, J., Littnerová, S., & Dušek, L. (2012). Vícerozměrné statistické metody v biologii. Brno: *Akademické Nakladatelství CERM*.
- Hauser, G., Daponte, A., & Roberts, M. J. (1989). Palatal rugae. *Journal of Anatomy*, 165, 237–249.
- Iizuka, T. (1974). Stage of the Closure of the Human Palate. *Okajimas Folia Anatomica Japonica*, 50(4), 249–257.
- Jakubíková, J. (2012). *Vrozené anomálie hlavy a krku*. Praha: Grada Publishing.
- Jelínek, R., Peterka, M., & Dostál, M. (1983). *Rozštěp rtu a patra v obraze experimentu*. Praha: Univerzita Karlova.
- Kau, C. H., & Richmond, S. (2008). Three-dimensional analysis of facial morphology surface changes in untreated children from 12 to 14 years of age. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 134(6), 751–760.
- Kau, C. H., Richmond, S., Palomo, J. M., & Hans, M. G. (2005). Current Products and

- Practice: Three-dimensional cone beam computerized tomography in orthodontics. *Journal of Orthodontics*, 32(4), 282–293.
- Klenková, J. (2006). *Logopedie: narušení komunikační schopnosti, logopedická prevence, logopedická intervence v ČR, příklady z praxe*. Praha: Grada Publishing.
- Knott, V. B. (1972). Longitudinal Study of Dental Arch Widths at Four Stages of Dentition. *The Angle Orthodontist*, 42(4), 387–394.
- Kolar, J. C., & Salter, E. M. (1997). *Craniofacial anthropometry: Practical measurement of the head and face for clinical, surgical, and research use*. Springfield: Charles C. Thomas Publisher.
- Koudelová, J., Dupej, J., Brůžek, J., Sedlak, P., & Velemínská, J. (2015). Modelling of facial growth in Czech children based on longitudinal data: Age progression from 12 to 15 years using 3D surface models. *Forensic Science International*, 248, 33–40.
- Koudelová, J., Hoffmannová, E., Dupej, J., & Velemínská, J. (2019). Simulation of facial growth based on longitudinal data: Age progression and age regression between 7 and 17 years of age using 3D surface data. *PloS One*, 14(2).
- Krajíček, V., Dupej, J., Velemínská, J., & Pelikán, J. (2012). Morphometric analysis of mesh asymmetry. *J WSCG*. 20, 65–72.
- Kramer, G. J. C., Hoeksma, J. B., & Prah-Andersen, B. (1994). Palatal changes after lip surgery in different types of cleft lip and palate. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 31(5), 376–384.
- Kramer, G. J. C., Hoeksma, J. B., & Prah-Andersen, B. (1996). Early palatal changes after initial palatal surgery in children with cleft lip and palate. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 33(2), 104–111.
- Kraus, B. S., Kitamura, H., & Latham, R. A. (1966). Atlas of developmental anatomy of the face. *The American Journal of the Medical Sciences*, 252(4), 500.
- Langford, R. J., Sgouros, S., Natarajan, K., Nishikawa, H., Dover, M. S., & Hockley, A. D. (2003). Maxillary volume growth in childhood. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 111(5), 1591–1597.

- Lary, J. M., & Paulozzi, L. J. (2001). Sex differences in the prevalence of human birth defects: A population-based study. *Teratology*, 64(5), 237–251.
- Latham, R. A. (1971). The development, structure and growth pattern of the human mid-palatal suture. *Journal of Anatomy*, 108(Pt 1), 31–41.
- Liao, Y.-F., Cole, T. J., & Mars, M. (2006). Hard palate repair timing and facial growth in unilateral cleft lip and palate: a longitudinal study. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 43(5), 547–556.
- Mazánek, J., et al. (2015). *Stomatologie pro dentální hygienistky a zubní instrumentářky*. Praha: Grada Publishing.
- Melsen, B. (1975). Palatal growth studied on human autopsy material. *American Journal of Orthodontics*, 68(1), 42–54.
- Militký, J., & Meloun, M. (2002). Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy včetně CD. 1. vyd. *Praha: Academia*.
- Moslerová, V., Dadáková, M., Dupej, J., Hoffmannová, E., Borský, J., Černý, M., Bejda, P., Kočandrlová K., Velemínská, J. (2018). Three-dimensional assessment of facial asymmetry in preschool patients with orofacial clefts after neonatal cheiloplasty. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 108, 40–45.
- Mossey, P. A., Little, J., Munger, R. G., Dixon, M. J., & Shaw, W. C. (2009). Cleft lip and palate. *The Lancet*, 374(9703), 1773–1785.
- Moštková, M. (2018). Variabilita a vývojové změny obličeje člověka ve věku 3-15 let: longitudinální a transverzální přístup. Praha: Univerzita Karlova, diplomová práce.
- Musilová, B., Dupej, J., Velemínská, J., Chaumoitre, K., & Bruzek, J. (2016). Exocranial surfaces for sex assessment of the human cranium. *Forensic Science International*, 269, 70–77.
- Netter, F. H. (2017). *Atlas of Human Anatomy E-Book*. Elsevier Health Sciences.
- O'Higgins, P. (1997). Methodological issues in the description of forms. *Fourier Descriptors and Their Applications in Biology*, 74–105.



- Peterka, M. (1984). Upper alveolar arch development in patients with total bilateral cleft lip and palate. *Acta Chirurgiae Plasticae*, 26(1), 30.
- Peterka, M., & Pěnkava, J. (1975). Growth of the width of the upper dental arch in a sample of the Czech population. *Ceskoslovenska Stomatologie*, 75(1), 44.
- Richtsmeier, J. T., Burke Deleon, V., & Lele, S. R. (2002). The promise of geometric morphometrics. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 119(S35), 63–91.
- Richtsmeier, J. T., Cheverud, J. M., & Lele, S. (1992). Advances in anthropological morphometrics. *Annual Review of Anthropology*, 21(1), 283–305.
- Rusková, H., Bejdová, Š., Peterka, M., Krajíček, V., & Velemínská, J. (2014). 3-D shape analysis of palatal surface in patients with unilateral complete cleft lip and palate. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 42(5), 140–147.
- Sadler, T. W. (2011). *Langmanova lékařská embryologie*. Praha: Grada Publishing.
- Sadowsky, P. L. (1998). Craniofacial growth and the timing of treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 113(1), 19–23.
- Santos, C., & Caldas, I. M. (2011). Palatal Rugae Pattern in a Portuguese Population: A Preliminary Analysis. *Journal of Forensic Sciences*, 57(3), 786–788.
- Sillman, J. H. (1964). Dimensional changes of the dental arches: Longitudinal study from birth to 25 years. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 50(11), 824–842.
- Singh, G. D., McNamara Jr, J. A., & Lozanoff, S. (1999). Finite-element morphometry of soft tissue morphology in subjects with untreated Class III malocclusions. *The Angle Orthodontist*, 69(3), 215–224.
- Singh, G. D., Rivera-Robles, J., & de Jesus-Vinas, J. (2004). Longitudinal craniofacial growth patterns in patients with orofacial clefts: geometric morphometrics. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 41(2), 136–143.
- Šmahel, Z. (2001). *Principy, teorie a metody auxologie*. Praha: Karolinum.

- Stloukal, M., & Dobisíková, M. (1999). *Antropologie: příručka pro studium kostry*. Praha: Národní muzeum.
- Tošovská, H. (2016). Vývoj obličeje u dětí ve věku od 6 do 12 let: longitudinální studie. Praha: Univerzita Karlova, diplomová práce.
- Tsai, H.-H., & Tan, C.-T. (2004). Morphology of the Palatal Vault of Primary Dentition in Transverse View. *The Angle Orthodontist*, 74(6), 774–779.
- Ursi, W. J. S., Trotman, C.-A., McNamara Jr, J. A., & Behrents, R. G. (1993). Sexual dimorphism in normal craniofacial growth. *The Angle Orthodontist*, 63(1), 47–56.
- Velemínská, J., Bigoni, L., Krajíček, V., Borský, J., Šmahelová, D., Cagánová, V., & Peterka, M. (2012). Surface facial modelling and allometry in relation to sexual dimorphism. *HOMO- J Comp Hum Biol*, 63(2), 81–93.
- Woo, J.-K. (1949). Ossification and growth of the human maxilla, premaxilla and palate bone. *The Anatomical Record: An Official Publication of the American Association of Anatomists*, 105(4), 737–761., 105(4), 737–761.
- Wood, P. J., & Kraus, B. S. (1962). Prenatal development of the human palate: Some histological observations. *Archives of Oral Biology*, 7(2), 137-IN7.
- Zelditch, M. L., Swiderski, D. L., Sheets, H. D., & Fink, W. L. (2004). Geometric morphometrics for biologists: a primer. Elsevier. San diego: Academic Press.

## 10. Seznam použitých zkratk

2D	two dimensional (dvojrozměrný)
3D	three dimensional (trojrozměrný)
C-R	crown-rump lenght (délka plodu od vrcholu hlavy ke konci zadečku)
CPD	coherent point drift analysis (coherent point drift analýza)
CPD – DCA	coherent point drift – dense correspondence analysis (coherent point drift – dense correspondence analýza)
DCA	dense correspondence analysis (dense correspondence analýza)
FESA	finite elements analysis (analýza konečných prvků)
GPA	generalized Procrustes analysis (generalizovaná Prokrustovská analýza)
PC	principal components (hlavní komponenty)
PC1	principal component 1 (první hlavní komponenta)
PC2	principal component 2 (druhá hlavní komponenta)
PCA	principal component analysis (analýza hlavních komponent)